

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Chemie
Studijní obor: Chemie životního prostředí



Tereza Krmelová

Fytoextrakce radionuklidů jako model dekontaminace reziduí radiofarmak

Phytoextraction of radionuclides as the model of radiopharmaceutical residues
decontamination

Bakalářská práce

Doc. Ing. Stanislav Smrček, CSc.

Praha, 2014

Práce je součástí řešení projektu Technologické agentury České republiky č. TA
03010027

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 26.08.2014

Podpis

Název práce: **Fytoextrakce radionuklidů jako model dekontaminace reziduí radiofarmak**

Autor: Tereza Krmelová

Obor: Chemie životního prostředí

Druh práce: Bakalářská

Vedoucí práce: Doc. Ing. Stanislav Smrček, CSc

Abstrakt:

Cílem práce je prokázat možnost extrakce ^{223}Ra kořenovým systémem testovaných rostlinných druhů *Avena sativa* a *Zea mays* jako model fytoimediační technologie a k získání dat k posouzení možného vstupu reziduí do potravních řetězců. Zároveň je studován možný vliv přidaných aditiv – komplexačních činidel a růstových stimulátorů na záchyt studovaného iontu a jeho translokaci z kořenové do nadzemní části. V práci byla potvrzena extrakce solí ^{223}Ra a translokace do nadzemní části rostliny. Dále bylo potvrzeno, že přidaná aditiva EDTA, Atonic[®], Sunagreen[®], Rexan[®], Stimulator Z[®], Racine[®], Vermaktiv Stimul[®] a Vermaktiv RP ovlivňují záchyt a translokaci ^{223}Ra v rostlině. Přídavek stimulátorů snižuje záchyt ^{223}Ra ze 75 % výchozí aktivity na hodnoty 24 – 71 % u kukuřice, současně ale zvyšuje translokaci kontaminantu do nadzemních částí. U rostlin ovsa je záchyt snižován z původních 84 % na 20 – 59 %. V případě Sunagreen[®] není záchyt ovlivněn a přídavek EDTA způsobí pouze minimální záchyt studovaného kontaminantu. Z výsledků je zřejmé, že záchyt ^{223}Ra je možný pomocí fytoextrakce. Běžně používané růstové regulátory zvyšují translokaci do nadzemních částí a mohou způsobit kontaminaci potravních řetězců.

Title: Phytoextraction of radionuclides as the model of radiopharmaceutical residues decontamination

Author: Tereza Krmelová

Branch: Environmental chemistry

Type of thesis: Bachelor's

Advisor: Doc. Ing. Stanislav Smrček, CSc

Abstract:

The aim is to demonstrate the possibility of ^{223}Ra extraction by root system tested plant species *Avena sativa* and *Zea mays* as a model phytoremediation technology and to obtain data to assess the possible entry of residues in food chains. It is also studied the possible effect of additives – complex agents and growth stimulators on uptake and translocation of contaminant from roots to shoot. It was confirmed the addition of additives EDTA, Atonic[®], Sunagreen[®], Rexan[®], Stimulator Z[®], Racine[®], Vermaktiv Stimul[®] a Vermaktiv RP affect to uptake and translocation of the ^{223}Ra in the plant. Addition of stimulators reduces ^{223}Ra uptake 75% of the starting activity value from 24 to 71% for corn, but simultaneously increases the translocation the contaminant to shoots. The uptake is reduced from original 84% to 20-59% for oats. The uptake isn't affected for the experiments with added Sunagreen[®] and addition of EDTA causes only minimal uptake of studied contaminant. From the results it is evident that uptake of ^{223}Ra is possible. Commonly used growth regulators increase translocation to shoots and can cause contamination of food chains.

Obsah

1 Úvod.....	8
1.1 Cíl práce	9
2 Teoretický úvod	10
2.1 Radionuklidy v životním prostředí	10
2.2 Fytoremediace.....	13
2.2.1 Fytodegradace	13
2.2.2 Rhizodegradace.....	14
2.2.3 Fytostabilizace	14
2.2.4 Fytoakumulace.....	14
2.2.5 Rhizofiltrace.....	14
2.2.6 Fytovolatilizace.....	15
2.2.7 Fytoextrakce.....	15
2.2.8 Výhody fytoremediací	15
2.2.9 Nevýhody fytoremediací.....	16
2.3 Princip fytoremediací.....	16
2.3.1 Obecný příjem minerálních živin	16
2.3.2 Přejem radionuklidů rostlinami	20
2.4 ^{223}Ra	22
2.4.1 Účinky léčiva na organismus	23
2.5 Regulátory růstu.....	23
2.5.1 Fytohormony.....	23
2.5.2 Stimulátory růstu.....	24
3 Experimentální část.....	29
3.1 Použitý materiál, chemikálie, přístroje a metody	29
3.1.1 Chemikálie	29
3.1.2 Rostlinný materiál	29

3.1.3 Přístroje	29
3.2 Příprava <i>in vitro</i> kultur	30
3.3 Fytoextrakce ²²³ Ra	30
4 Výsledky a diskuze	32
4.1 Experimenty s kukuřicí setou (<i>Zea mays</i>)	32
4.1.1 přídavek EDTA	32
4.1.2 Přídavek SUNAGREEN	34
4.1.3 Přídavek REXAN	35
4.1.4 Přídavek ATONIK	37
4.1.5 Přídavek Stimulátor Z	38
4.1.6 Přídavek RACINE	39
4.1.7 Přídavek VERMAKTIV	41
4.1.8 Přídavek VERMAKTIV RP	43
4.1.9 Bez přídavku	44
4.1.10 Souhrn výsledků	46
4.2 Experimenty s ovsem setým (<i>Avena sativa</i>)	47
4.2.1 Přídavek EDTA	47
4.2.2 Přídavek Stimulátor Z	49
4.2.3 Přídavek RACINE	50
4.2.4 Přídavek VERMAKTIV	52
4.2.5 Přídavek VERMAKTIV RP	53
4.2.6 Bez přídavku	55
4.2.7 Přídavek SUNAGREEN	56
4.2.8 Přídavek REXAN	58
4.2.9 Přídavek ATONIK	59
4.2.10 Souhrn výsledků	61
5 Závěr	62

6 Literatura.....	63
7 Seznam tabulek	65
8 Seznam obrázků	67
9 Seznam rovnic.....	68
10 Seznam použitých zkratek	69

1 Úvod

Následkem neustále rozvíjejícího se životního komfortu populace se do ekosystému dostává hodně cizorodých látek, které jsou odborně nazývaná xenobiotika. Jsou to chemické sloučeniny nebo jejich směsi užívané člověkem při různých činnostech. Většinou jde o látky obtížně rozložitelné nebo látky sice rozložitelné, ale s kontinuálním vstupem do životního prostředí. V zemědělství jsou těmito látkami pesticidy (insekticidy, herbicidy, fungicidy, apod.). V ostatním chemickém průmyslu se jedná například o chlorovaná rozpouštědla, látky obsahující těžké kovy, potravinářská aditiva či parfemační kompozita. Tyto látky a jejich účinky jsou zkoumány řadu let, ale v posledních letech se čím dál tím větší pozornost se upíná na látky, kterým byla prokázána, nebo se u nich předpokládá možnost ovlivnění životního prostředí především ve smyslu negativního vlivu na zdraví organismů. Tato skupina se podle Enviromental Protection Agency USA (US EPA) nazývá Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs). Do první podskupiny se řadí řada veterinárních i humánních léčiv, a zahrnuje jak primární léčiva, tak i jejich metabolity. Další podskupinu tvoří některé složky produktů osobní péče, jako jsou sprchové gely, mýdla, šampony, kondicionéry, prací prášky aj. Tyto produkty neobsahují jen povrchově aktivní látky, ale i aditiva, jako jsou bělící a parfemační látky. PPCPs se při dlouhodobém působení i nízkých koncentrací připisuje účinek na hormonální systém živočichů. Takové látky jsou souhrnně označovány Endocrine Disrupting Chemicals (EDCs), tedy látky ovlivňující hormonální systém či simulující estrogenní aktivitu.

Použitá léčiva působí v organismu, se buď metabolizují, nebo projdou v nezměněné formě. Po vyloučení pak kontaminují odpadní a následně i povrchové vody, jelikož čistírny odpadních vod (ČOV) nedokáží mnohé tyto sloučeniny účinně odstranit. V současné době čistírny odpadních vod nemají odpovídající technologie na to, aby léčiva dokázaly odstranit. Proto lze běžně nalézt stopy těchto substancí v povrchových vodách a následně se tyto látky šíří do potravního řetězce živočichů. Povrchová voda se používá i k přípravě vodovodní vody a rovněž současné vodárenské technologie nedokáží kompletně tyto látky odstranit. Tyto substance se tak dostávají, byť v nepatrných koncentracích i do běžně dostupné pitné vody. Tato xenobiotika mohou mít estrogenní efekt, tedy narušovat hierarchii řízení exkrece endokrinních hormonů v organismu. Díky tomu sílí snahy o nalezení způsobu odstranění buď přímo u zdrojů,

nebo u výpustí ČOV. Jednou takovouto metodou jsou kořenové čistírny, kde se voda čistí filtrací kořenovým systémem vhodných rostlin. V této práci se nebudeme látkami s estrogením efektem, které jsou nejčastěji v tomto smyslu diskutovány. Jiným problémem farmakoterapie a diagnostických metod je použití radiofarmak, které má sice vysokou diagnostickou a terapeutickou hodnotu. Zároveň je však zdrojem prakticky nekontrolovatelné kontaminace odpadních vod použitými radionuklidy. Současně se zaváděním radionuklidů do farmakoterapie je proto nutné hodnotit i možnost kontaminace ekosystému a možnosti dočišťování odpadních vod z výpustí lékařských pracovišť. Studie je zaměřena na ^{223}Ra , které je zatím součástí radiofarmaka Xofigo, které radium obsahuje ve formě dichloridu. V současné době se totiž uvažuje o dalších látkách s uvedeným radionuklidem a zvýšení jeho využití. Studie je příspěvkem k posouzení environmentální bezpečnosti a ke studiu možností biotechnologického dočišťování nemocničních odpadních vod.

1.1 Cíl práce

Práce je zaměřena na získání základních údajů k vyhodnocení environmentálního působení ^{223}Ra použitého v radiofarmaceutických přípravcích a zahrnuje:

- 1) Studium zachytu kationtů ^{223}Ra kořenovým systémem rostlin v modelovém *in vitro* uspořádání (*Zea mays*, *Avena sativa*).
- 2) Vyhodnocení translokace kontaminantu z kořenové do nadzemní části metodou elektronické autoradiografie.
- 3) Ovlivnění zachytu a translokace vhodnými aditivy (EDTA, běžně používané růstové regulátory (Atonic, Stimulátor Z, Sunagreen, Vermaktiv Stimul, Racine apod.)).
- 4) Vyhodnocení možnosti fytoextrakce a kontaminace potravních řetězců.

2 Teoretický úvod

2.1 Radionuklidy v životním prostředí

Výskyt radionuklidů v životním prostředí se dělí na dva typy. Buďto se jedná o přírodní radionuklidy, nebo ty které jsou vytvořeny člověkem. 79% radiace, kterou člověk absorbuje, pochází z přírodních zdrojů, 19 % ze zdravotnictví a zbývajících 2% pochází z testování jaderných zbraní a nukleárního průmyslu, zahrnující i havárie jaderných elektráren. Tato čísla jsou samozřejmě průměrem a mohou se lišit území od území. Zejména pro Bělorusko, jehož území je téměř ze sta procent kontaminováno, díky havárii jaderné elektrárny v Černobylu, jsou tato čísla samozřejmě jiná, než je tomu v průměru [1]. Dalším zdrojem kontaminace radionuklidy, jsou i v dnešní době spady ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře v osmdesátých letech minulého století. I dnes jsou stopy radionuklidů ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře a následně mokrou i suchou depozicí se dostávají i do půdy. Mezi přírodní radionuklidy se řadí takzvané kosmogenní radionuklidy a terestriální radionuklidy. [4]

Kosmogenní radionuklidy jsou nuklidy, které vznikají průběžně v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména v atmosféře Země. Proto se jedná o ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{22}Na .

Terestriální radionuklidy se pak dělí na primordiální a radionuklidy rozpadových řad. Radiační zátěž terestriálního záření není na různých místech Země konstantní. Rozdíly jsou způsobeny zejména nerovnoměrným rozdělením radionuklidů v zemské kůře, což je způsobeno převážně geologickými procesy. Proto se vyskytují na Zemi místa s extrémními dávkovými příkony od terestriálních radionuklidů, které několikanásobně převyšují světový průměr.

Primordiální radionuklidy vznikly v raných stádiích vesmíru a díky jejich dlouhému poločasu rozpadu, většinou kolem 10^8 let, se ještě vyskytují na Zemi ve významném množství. Jedná se o izotopy uranu ^{238}U , ^{235}U , thorium ^{232}Th a draslík ^{40}K . Mnoho dalších radionuklidů se díky kratšímu poločasu rozpadu již vymřela, nebo nejsou prakticky detekovatelné. Nejvýznamnějším zástupcem skupiny radionuklidů vznikajících v přeměnových řadách je radium ^{226}Ra (v řadě počínající uranem ^{238}U). Z ^{226}Ra vzniká plyn radon ^{222}Rn s řadou dceřiných produktů, které jsou ale v pevné

formě. Existují čtyři přeměnové řady: uran-radiová, thoriová, aktiniová a neptuniová, se kterou se v přírodě již prakticky nesetkáme, jelikož prvky, které ji tvořily, mají krátký poločas rozpadu a v přírodě se prakticky nevyskytují.

Primárním zdrojem přírodních radionuklidů jsou horniny. Terestriální radionuklidy emitující záření gama, které se nacházejí ve svrchních vrstvách půdy a hornin, způsobují externí expozici organismu. Původ jednotlivých hornin, ze kterých vznikla půda, má vliv na specifickou aktivitu jednotlivých hornin. Vyvřelé horniny mají obecně vyšší úroveň aktivit než je tomu u hornin přeměněných. Horniny vzniklé sedimentací mají většinou nízké hodnoty specifických aktivit. Existují ale výjimky. U některých břidlic nebo fosfátových hornin lze naměřit vysoké hodnoty aktivit.

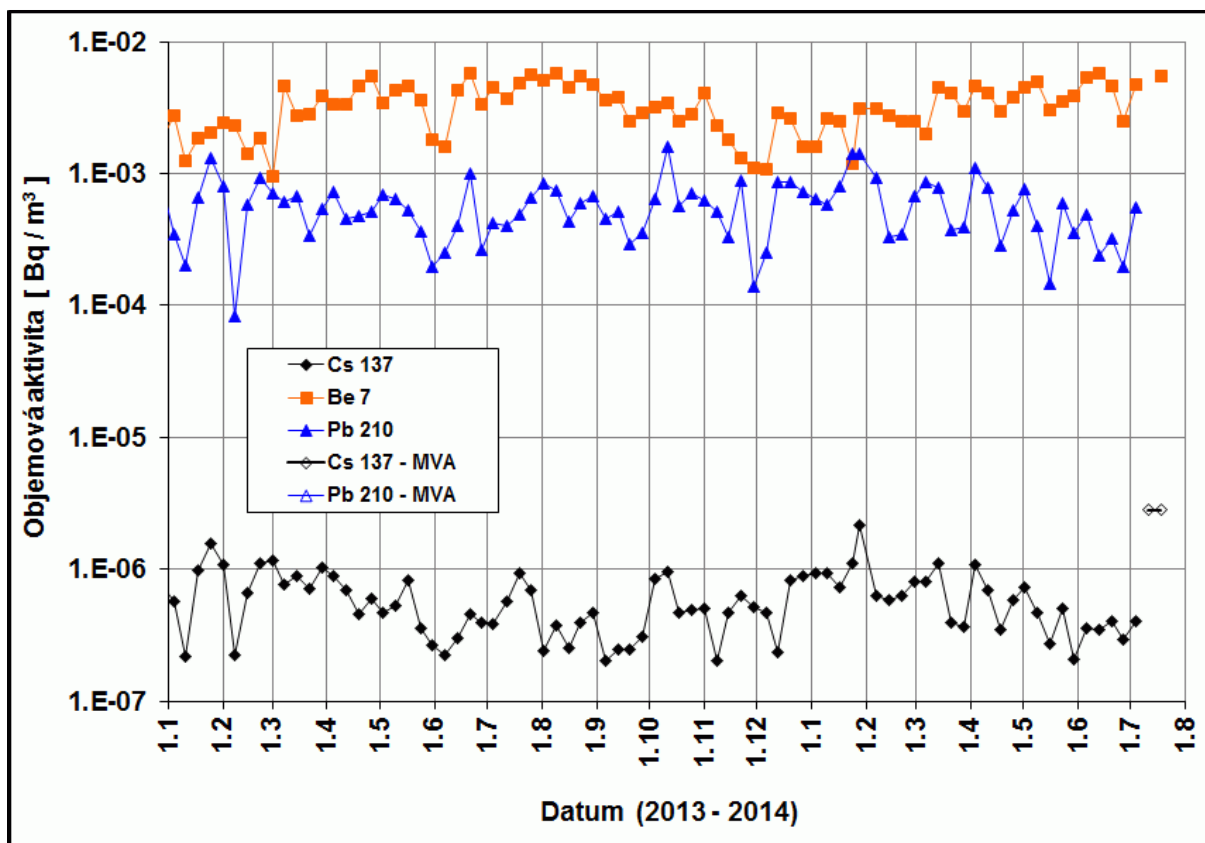
Horniny a půdy nejsou jen zdroji externího záření, ale musí se brát v patrnost jejich potenciál migrovat do vody, ovzduší a potravních řetězců. Dalším problémem je radioaktivita některých stavebních materiálů, které jsou vyráběny z hornin nebo druhotných surovin.

Uvolňování radionuklidů do vod je velmi složitý proces, který závisí na geochemických, fyzikálních a hydrologických poměrech. Vyšší koncentrace radionuklidů se nacházejí v podzemních vodách, kde je voda v dlouhodobém kontaktu s horninami s vyšším obsahem přírodních radionuklidů. V povrchových vodách jsou hodnoty řádově nižší. Výjimkou jsou případy toků, které jsou znečišťovány vodou z dolů, kde jsou koncentrace radionuklidů srovnatelné s podzemní vodou. Průměrný obsah radonu v pitné vodě z podzemních zdrojů je v ČR kolem 15 Bq.l^{-1} a odhad průměrného ozáření z radonu je $0,05 \text{ mSv}$ za rok.

Do ovzduší se přírodní radionuklidy dostávají uvolňováním z hornin a půd. Jedná se především o plyný radon a jeho rozpadové produkty. Radon uniká do atmosféry difuzí, kde se rozptýluje. Radionuklidy se dále dostávají do ovzduší v podobě prachu. [2][3][4]

V ČR se pravidelně monitoruje koncentrace radionuklidů a díky spektroskopii gama také se zjišťuje, o jaké radionuklidy se jedná. Dlouhodobě je ve spektrech identifikován umělé cesium ^{137}Cs , přírodní beryllium ^7Be a olovo ^{210}Pb , které je konečným produktem přírodního radonu ^{222}Rn . Přírodní radionuklidy jsou hodnoceny z důvodu ověřování správnosti měření jednotlivých laboratoří RMS (radiační

monitorovací síť ČR). Umělý radionuklid cesia ^{137}Cs pochází z globálního spadu, který je důsledkem zkoušek jaderných zbraní v atmosféře a havárie jaderné elektrárny v Černobylu. Příspěvek havárie jaderné elektrárny Fukušima k měřené aktivitě je kromě období od března do května 2011, zanedbatelný. Z této mimořádné události v tomto období byly detekovány radionuklidy cesia ^{134}Cs a jodu ^{131}I .



Obrázek 1: Týdenní hodnoty objemové aktivity ^{137}Cs , ^7Be a ^{210}Pb v aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha

Další radionuklidy, které jsou v ovzduší sledovány je krypton ^{85}Kr a uhlík ^{14}C . ^{85}Kr pochází ze závodů na přepracování jaderného paliva, zkoušek jaderných zbraní v atmosféře a v malé míře i výpustí jaderných elektráren. ^{14}C vzniká účinkem neutronové složky kosmického záření, ovšem jeho rovnovážná koncentrace byla navýšena zkouškami jaderných zbraní. Antropogenním zdrojem uhlíku ^{14}C jsou jaderné reaktory. [6]

Dalšími radionuklidy antropogenního původu jsou radionuklidy, které pochází z nukleární medicíny, zahrnující i rezidua radiofarmak. Mnoho radiofarmak obsahuje metastazované technecium $^{99\text{m}}\text{Tc}$, který jako gama zářič má spoustu vlastností, které se využívají v nukleární medicíně. Existuje 31 různých radiofarmak s $^{99\text{m}}\text{Tc}$, který se využívají při zobrazování některých orgánů a také na léčbu nádorů. Jako účinné látky

radiofarmak jsou používány například radionuklidy jodu ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , India ^{111}In , fosfor ^{32}P , radium ^{223}Ra , yttrium ^{90}Y a mnoho dalších. [5]

Radiofarmaka, stejně i jako normální farmaka, jsou dnes označovány jako „nová“ xenobiotika, která jsou čím dál tím víc využívána, takže zde existuje riziko negativních vlivů na životní prostředí, proto roste snaha vymyslet řešení, které by tato xenobiotika z životního prostředí odstraňovalo.

2.2 Fytoremediace

Jednou z možností jak odstranit polutanty z prostředí jsou právě metody fytoremediace. Je to souhrn dějů, které probíhají v přírodě bez zásahu člověka. Fytoremediací se omezí toxicita, mobilita, objem a koncentrace daného polutantu. Metoda je definována jako využití zelených rostlin, jejich mikroorganismů a půdních doplňků pro odstranění nebo transformaci polutantu z životního prostředí. Dělí se na čtyři různé procesy: extrakce kontaminantů z vody a půdy (tím se odstraňují zbytky těžkých kovů a radionuklidů), degradace a volatilizace organických sloučenin (látky je modifikována pomocí enzymů) a stimulace mikrobiálního systému v rhizosféře. Odstraňování polutantů z půdy nebo vody se uskutečňuje adsorpcí a absorpcí v kořenové oblasti a možným následným transportem z kořenů do listů a stonku. Rostliny jsou poté sklizeny a odstraněny, plocha je opět osázena do té doby než se koncentrace polutantu sníží na přijatelnou hodnotu. [7, 8]

2.2.1 Fytodegradace

Při fytodegradaci dochází k přeměně a odbourávání polutantu uvnitř rostliny. Modifikace polutantu probíhá díky enzymům, které jsou schopné modifikovat organické sloučeniny tím, že vytvářejí postranní skupiny, které jsou rozpustnější a umožňují konjugaci. Těmito enzymy jsou: dehalogenasa, monooxygenasa a diogenasa, peroxidasa, karboxylesterasa, laccasa, nitrilasa, fosfatasa a nitroreduktasa. Fytodegradace většinou probíhá při odstraňování organických polutantů, jako jsou polychlorované bifenyly, výbušniny, DDT a další. Je vhodné, aby nedocházelo k přeměně na metabolity, které jsou toxičtější než samotný primární polutant. [7, 8]

2.2.2 Rhizodegradace

Základem této metody je zvýšení tvorby půdních bakterií v půdě díky kořenovému systému rostlin, kde dochází k snížení kontaminace půdy. Kořeny pak vylučují organické sloučeniny (cukry nebo alkoholy), které jsou potravou pro půdní bakterie, což vede ke zvýšenému počtu bakterií a zároveň je stimulována jejich aktivita, která je důležitá k rozkladu okolních polutantů. [7, 8]

2.2.3 Fytostabilizace

Rostliny při této metodě odstraňují polutant z půdy a vody. Kořenový systém díky adsorpci, absorpci, komplexaci a precipitaci snižuje vymývání polutantu z půdy, sedimentu a kalu. Vzrůstem zabraňují půdní a větrné erozi, což zabraňuje rozšíření kontaminace. Tato metoda se používá tam, kde je potřeba obnovit vegetační pokrývku, kde kvůli vysoké kontaminaci není možné, vysázet běžnou vegetaci. Používá se i pro finální úpravu půdy, kde byla kontaminace odstraněna jiným způsobem. [8]

2.2.4 Fytoakumulace

Rostliny absorbují polutant v kořenech, odkud kontaminant putuje do nadzemní části, kde se akumuluje. Následuje sklizeň rostlin, ale díky kontaminaci nadzemní části se musí s rostlinami zacházet jako s odpadem a musí se odborně a ekologicky zlikvidovat. Fytoakumulace se používá k odstranění těžkých kovů, polokovů, radionuklidů a nekovů. Není příliš vhodná pro odstraňování organických látek, protože se tyto látky mohou přeměnit na toxičtější látky, které mohou v některých případech unikat do ovzduší v důsledku respirace. [7, 8]

2.2.5 Rhizofiltrace

Touto metodou se odstraňuje kontaminace z povrchových, splaškových nebo vyčerpaných podzemních vod pomocí kořenového systému rostlin. Zde se polutant sráží nebo se absorbuje přímo v kořenech. Cílovou částí jsou kořeny, takže polutant nemůže být rostlinou vylučován do ovzduší. Rhizofiltrace se využívá výhradně na dekontaminaci velkého objemu vody s malými koncentracemi. Rhizofiltrace rostlinami slunečnice, byla zkoumána pro radionuklidy stroncia ^{90}Sr a cesia ^{137}Cs . [7, 9]

2.2.6 Fytovolatilizace

Rostliny přijímají polutant kořenovým systémem a absorbují ho v nadzemní části. Transpirují těkavý polutant, těkavý produkt metabolismu nebo těkavé formy původně netěkavé látky. Tato metoda se používá na odstranění zejména organických látek jako například *terc*-butyl-methylether a jiné složky benzínu. Fytovolatilizace je velice kontroverzní metoda, jelikož se jedná pouze o přesun polutantu z vody do ovzduší. Fytostabilizace radionuklidů využívá rostliny, které dokáží přijímat velké množství vody. Toho se využívá k odstranění tritia. [7, 9]

2.2.7 Fytoextrakce

Rostliny se vysazují přímo na kontaminovanou půdu. Po akumulaci jsou sklizeny a speciálně upraveny buď chemicky, tepelně nebo mikrobiálně. Fytoextrakce se využívá zejména při akumulaci toxických těžkých kovů. Jako rostliny se využívají ty, které jsou tolerantní v přítomnosti daného polutantu a jsou schopny akumulovat vysoké koncentrace látky bez vlivu na jejich růst. Rostliny se vybírají podle jejich schopnosti akumulovat široké spektrum kovů a jejich vysoké koncentrace a zároveň tvořit velké množství biomasy. Efektivita fytoextrakce se vyjadřuje jako transfer faktor. Ačkoli se fytoextrakce zkoumala u různých radionuklidů, došlo se k závěru, že se nejlépe extrahují radionuklidy cesia ^{137}Cs , stroncia ^{90}Sr a uranu ^{235}U a ^{238}U . [7, 9]

2.2.8 Výhody fytořemediací

Jednou z největších výhod fytořemediací je množství kontaminovaného materiálu, který je nutno likvidovat v porovnání s klasickým vytěžením a následnou sanací kontaminované půdy. Další a neméně důležitější výhodou je využívání sluneční energie, jelikož fotosyntéza je zdrojem pro všechny biochemické děje v zelených částech rostliny. Další výhodou je že transfer kontaminantů je rychlejší než přirozená atenuace. Při těchto metodách je půda pořád na jednom místě. Nedochozí k převozu kontaminované půdy, navíc půda může být někdy využívána i k pěstování energetických plodin. Fytořemediace jsou slučitelné s klasickými dekontaminačními technologiemi. Používají se jako konečná metoda pro dočištění kontaminované půdy na požadovanou úroveň [7, 8]

2.2.9 Nevýhody fytořemediací

První z nevýhod je nízká odolnost rostlin vůči polutantům, jelikož mnoho sloučenin je toxických ve vysokých koncentracích. Další značnou nevýhodou je nízký transport polutantů do nadzemní části rostliny. Nadzemní část se lépe sklízí a posléze i využívá k zisku energie či daného polutantu zpátky. Horší je ale ukládání kontaminovaného materiálu. Pro ekologické zničení nebo využití jsou potřeba speciální sklárky nebo spalovny. Velké je také nebezpečí kontaminace potravního řetězce. Další nevýhodou je, že kořeny rostlin dosahují pouze do určité hloubky, takže rostliny mohou odstraňovat pouze povrchovou kontaminaci. Některé látky jsou pouze v biologicky nedostupné formě, jako jsou hydrofobní organické sloučeniny nebo nerozpustné anorganické sloučeniny. [7, 8]

2.3 Princip fytořemediací

2.3.1 Obecný příjem minerálních živin

V přirozených podmínkách přijímá rostlina vodu a živiny z půdy. Minerální látky jsou součástí pevné fáze půdy a získávají se z humusu, který vzniká rozkladem biomasy. Minerální živiny se v půdě vyskytují ve třech stavech. Prvním stavem je, že jsou vázané a nemohou být rostlinami přímo využity, druhým je, že jsou to kationty iontově vázané na povrchu půdních koloidních částic a třetím stavem jsou rozpuštěné částice, tyto živiny jsou přítomné v půdním roztoku a rostlina je může přímo využít. Pokud se rostlina pěstuje v jiných než přirozených podmínkách, tak všechny živiny obsahuje médium, na které je rostlina vysazena. Minerální živiny se nacházejí buď v cytoplasmě, nebo ve vakuole. Vakuola slouží jako zásobník pro běžné ionty, ale i pro látky, které by mohly mít nepříznivé účinky na rostlinnou buňku. [11]

2.3.1.1 Transport iontů minerálních živin a dalších látek

Základními mechanismy transportu iontů jsou: 1. Hromadný tok roztoku, 2. Prostá difuze, 3. Transport prostřednictvím membránových přenašečů.

Hromadným tokem jsou ionty a další látky transportovány velmi rychle na dlouhou vzdálenost. Z kořenů se živiny pohybují převážně transpiračním proudem nebo kořenovým vztlakem v xylému, směr proti transpiračnímu proudu probíhá ve floému.

Prostá difuze se řídí 1. Fickovým zákonem, probíhá spontánně a je určena gradientem

Rovnice 1: 1. Fickův zákon

$$J_s = -D_s \frac{dc_s}{dx} \quad ^1$$

chemického potenciálu. Rostlinné membrány jsou pro většinu biologicky významných molekul a iontů prakticky neprostupné. Je tomu tak, protože čím jsou částice větší a polárnější tím je jejich membránová permeabilita menší. Proto jen tři biologicky významné nepolární soluty (O_2 , CO_2 a NH_3) pronikají lipidovou dvojvrstvou prostou difuzí.

Transport prostřednictvím membránových přenašečů minerálních iontů, cukrů, aminokyselin a dalších sloučenin probíhá velmi rychle. Transportéry jsou přítomny v lipidové dvojvrstvě, fungují jako pupy přenašeče a kanály. Tento transport je buňkou přísně regulován a je na něm závislá celá řada životně důležitých funkcí vyšších rostlin, například: kompartmentace metabolitů v buňce, získávání minerálních živin z půdy, distribuce živin a metabolitů v rostlině, vylučování odpadních produktů, signalizace a syntéza ATP. Hnací silou membránových transportů jsou transmembránové gradienty chemického potenciálu látek. Pokud se jedná o elektroneutrální látky, je tento gradient nazýván koncentrační, pokud se jedná o ionty nesoucí elektrický náboj, jedná se jak o gradient koncentrační tak i elektrický, který se označuje jako membránový potenciál. Membránový potenciál je důležitý pro protonové pumpy, které pumpují protony i přes koncentrační gradient za spotřeby energie ATP. Transmembránový protonový gradient se využívá při transportování nízkomolekulárních látek symportem nebo antiportem s protony.

Pumpy jsou důležitou součástí rostlinné buňky. Jsou to membránové bílkoviny enzymatického charakteru, které hydrolyzují ATP nebo pyrofosfát a pomocí uvolněné energie transportují ionty, podle toho na které ionty je pumpa určena (ionty vodíkové,

¹ Rychlost transportu látky, nebo hustota toku J_s [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] je přímo úměrná koncentračnímu gradientu $\frac{dc_s}{dx}$ (c je koncentrace x je délka difuzní dráhy) konstantou úměrnosti je difuzní koeficient D_s [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

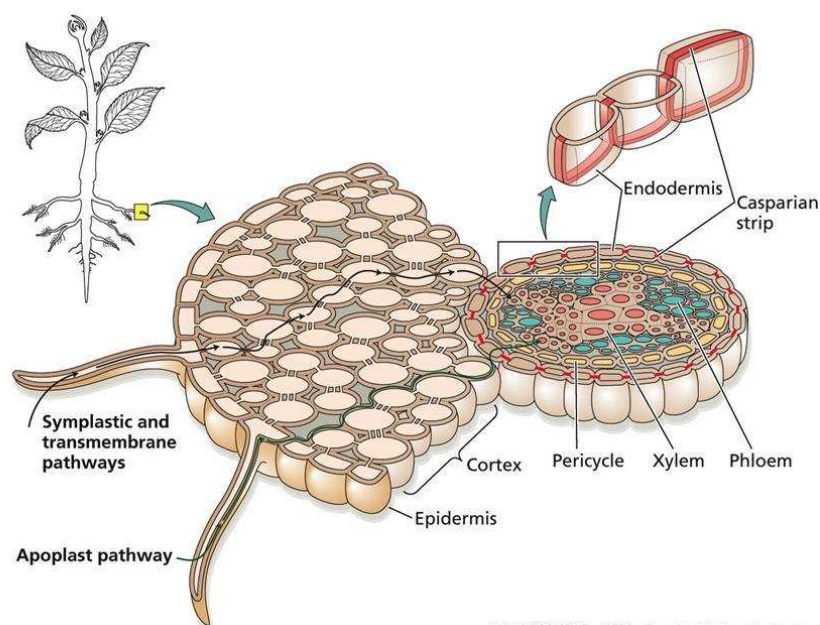
vápenaté, sodné nebo i organické), z jedné strany membrány na druhou. Pokud dochází k pohybu náboje přes membránu, jsou tyto pumpy nazývány elektrogenní. Pokud se náboj nepřesouvá, jsou tyto pumpy označovány jako elektroneutrální. Elektrogenním přenosem kationtů z jedné strany membrány na druhou se vytváří negativní membránový potenciál. Pumpy pohánějí aktivní membránový potenciál a tak jsou klasifikovány jako primární. Nejznámějšími popsány pumpami v rostlinné buňce jsou: plasmolemální $P\text{-H}^+\text{-ATPasa}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-ATPasa}$, vakuolární $\text{H}^+\text{-ATPasa}$, vakuolární $\text{H}^+\text{-pyrofosfatasa}$, vakuolární transportéry ABC.

Přenašeče jsou dalším zástupcem transportních bílkovin katalyzující pohyb anorganických iontů a jednoduchých organických sloučenin přes membránu. Většina jich funguje tak, že dochází ke spřažení sestupného toku protonů se vzestupným tokem přenášené látky. Pokud je tento tok katalyzovaný přenašečem ve stejném směru jako tok H^+ , tak se přenos nazývá symport, pokud je tento směr opačný nazývá se antiport. Při antiportu, tedy dochází k výměně transportované látky za protony. Jelikož protony tečou pasivně do cytosolu, jsou symportní přenašeče využívány pro příjem látky z vnějšího prostředí nebo z intracelulárních kompartmentů. Při obou procesech (symportu i antiportu) se protonmotorická síla mění v elektrochemický potenciál transportovaných látek. Symport a antiport probíhá díky cirkulaci protonů membránou a označuje se jako sekundární aktivní transport. Existují i přenašeče, které katalyzují i pasivní membránový transport, označovaný jako usnadněná difuze. Probíhá totiž po spádu elektrochemického potenciálu bez spotřeby energie. Přenašeče mají hlavní úlohu při vstřebávání živin z půdy, transportu fotosyntátů, mobilizaci a uskladnění zásobních látek.

Kanály jsou dalšími transmembránovými bílkovinami, které se podílí na transportu a příjmu minerálních živin v rostlině. Fungují jako selektivní póry membrány. V rostlinných buňkách existují spousty druhů kanálů, které jsou specifické pro danou živinu, kterou přenášejí. Jedná se o draslíkové, vápenaté, chloridové, malátové (nebo kanály pro kyselinu jablečnou u CAM rostlin) a kanály pro vodu, tzv. aquaporiny. Hnací silou pohybu iontů kanálem je gradient jejich elektrochemického potenciálu. Průchodnost kanálu musí být regulována signály, které reagují na změnu membránového potenciálu, nebo jinými podněty jako jsou vápenaté ionty [11]

2.3.1.2 Příjem minerálních živin z půdy a jejich transport

Živiny obsažené v půdním roztoku jsou spolu s vodou absorbovány kořeny, ty se dostávají s půdním roztokem do kontaktu třemi způsoby: difuzí iontů, hromadným tokem půdního roztoku nebo pronikáním kořenů do nových oblastí půdy. První fází absorpce je kontaktní výměna iontů, která probíhá na kořenových vláscích při styku s půdními koloidními částicemi. Oxid uhličitý, který je produktem dýchání kořenů, se rozpouští ve vodě a tím dochází k okyselení vody (vznik kyseliny uhličité, která se disociuje na H^+ a HCO_3^-). Vodíkové kationty se vyměňují za kationty vázané na koloidní půdní částice a hydrogenuhlíčitě anionty se vyměňují za anionty volně přítomné v půdním roztoku. Ionty se dostávají z kořenového povrchu difuzí, iontovou výměnou a hromadným tokem do buněčných stěn kořenových vlásků a dalších epidermálních buněk. Odtud se pohybují v radiálním směru do xylému. Ionty se pak pohybují paralelně s vodou symplastem a apoplastem. Vstup do symplastu se většinou děje aktivním transportem, který je selektivně regulován. V xylémovém parenchymu jsou ionty aktivně transportovány ze symplastu do buněčných stěn, odkud se dostávají do vnitřního prostoru cév a dále cévami transpiračním proudem do nadzemní části rostliny. Transpiračním proudem a na něm navazující difuzí a aktivním transportem se transportované látky dostávají do přilehlých živých buněk stonku nebo kmene. [11]



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 4.4 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

Obrázek 2: Příjem vody a minerálních živin kořeny (Plant physiology Fourth Edition)

Většina minerálních iontů je vedena do listů, kde se cévní svazky jemně větví a ionty z nich přechází do okolního pletiva. Přebytkové množství minerálních iontů přechází do floému, odkud jsou vedeny do orgánů, kde jsou potřeba (např. rostoucí listy, plody, zásobní orgány), nebo jsou odvedeny zpět do kořenů. Absorpce minerálních živin je závislá na struktuře a sorpčním povrchu kořenů. Rostliny mohou také svou aktivitou měnit podmínky v rhizosféře, tím ovlivnit dostupnost a formu iontu. [11]

2.3.2 Příjem radionuklidů rostlinami

Důležitým aspektem chování radionuklidu v přírodě je jeho rozdělení mezi ekosystémy. Radionuklidy, které jsou v atmosféře, jsou zde pouze krátkou dobu, jelikož dochází k jejich depozici na zemský povrch. Pro fytořemediace je důležité jestli je radionuklid pro rostlinu dostupný, tedy jestli je rozpuštěn v půdním roztoku. Půda a její zadržovací schopnost pro radionuklidy je jedním z hlavních faktorů, který může ovlivňovat výsledky fytořemediací. Dalším faktorem je i charakteristika daného radionuklidu. Pro každý zkoumaný radionuklid a půdu se dá stanovit distribuční koeficient mezi pevnou fází a kapalnou fází K_d [14]

Rovnice 2: distribuční koeficient solid-liquid

$$K_d = \frac{c_{\text{radionuklidu v pevné fázi}} [Bq \cdot g^{-1}]}{c_{\text{radionuklidu v kapalně fázi}} [Bq \cdot ml^{-1}]} = [ml \cdot g^{-1}]$$

Podle hodnoty K_d pak lze určit, jak je radionuklid rozpuštěn v půdním roztoku. Čím je hodnota K_d menší, tím více je radionuklid pro rostlinu dostupnější a tedy ho rostlina může lépe přijímat. Většina hodnot K_d pro radionuklidy je vysoká, ovšem existují i výjimky, jako je stroncium a technecium, které mají experimentální hodnoty K_d nízké. Pokud srovnáme tyto hodnoty pro radionuklidy s hodnotami pro makroprvky, tak zjistíme, že pro makroprvky mají hodnoty mnohem nižší než u radionuklidů. Pokud ale srovnáme hodnoty K_d radionuklidů s hodnotami, které mají mikro prvky, zjistíme, že tyto hodnoty se zdaleka tak neliší. Z toho pak můžeme usuzovat, že radionuklidy můžeme extrahovat z půdy pomocí rostlin, podobně jako lze extrahovat mikroprvky. Ovšem nemůžeme očekávat takovou extrakční účinnost jako u látek, podobným makroprvkům. Radionuklidy s velkým K_d se ve velkých množstvích váží na kořeny. Hodnotu K_d lze snížit použitím vhodných hnojiv a jiných činidel, která zvyšují dostupnost radionuklidu pro rostlinu. Existuje mnoho studií, co se zabývají vztahem

mezi druhem půdy a pH, nebo obsahu organické hmoty. [13] Tyto podmínky se dají snadno aplikovat na zemědělské, nebo fytoremediační účely. Byly zkoumány i účinky některých látek na dostupnost radionuklidu. Například se zkoumaly účinky NH_4^+ na dostupnost jednomocných kationtů v půdě (například Cs^+), což se ukázala jako účinná varianta zvýšení dostupnosti jednomocných kationtů. [15] Další metodou je metoda izotopového ředění. Zvýšením koncentrace stabilního izotopu cesia by se pak zvýšila dostupnost nestabilního izotopu pro rostliny.[16] Dále probíhali experimenty u sloučenin, které naopak snižují dostupnost radionuklidů pro živé organismy. Jedná se například o komplex stříbra s thiomocovinou [17], tetrafenylborát sodný [18] a ACFC (hexakynoželeznan amonno-železitý) [19]. Studií zvýšení biologické dostupnosti ostatních radionuklidů není mnoho, ale tyto zmíněné studie mohou dát základ výzkumu fytoremediací radionuklidů. Jelikož před mnoha lety u rtuti a arsenu, nebyl zjištěn vyšší fytoremediační potenciál než je tomu u radionuklidů, ale pokračovalo se se studiemi, a nakonec se dosáhlo významného pokroku v navýšení fytoremediačního potenciálu jak u rtuti tak i arsenu [20]. V posledních letech se provedlo mnoho výzkumů chování radionuklidu v různých typech půd, a pokud k těmto znalostem přidáme zkušenosti s jinými prvky, tak může říct, že použití fytoremediací k odstranění radionuklidů má opravdový potenciál.

Rostliny přijímají radionuklidy, které jsou nejvíce podobné přirozeným rostlinným živinám. Cesium, v podobě cesných kationtů, je podobné draslíku (draselným kationtům). Stroncium (jeho dvoumocné kationty) jsou podobné vápníku. Kobalt (jeho dvoumocný kationt) je podobný niklu. Dříve se předpokládalo, že radium je podobně přijímáno jako stroncium potažmo vápník, ale nakonec se zjistilo, že příjem radia není tak úzce spjat s příjmem vápníku, ale barya. [21] U těchto radionuklidů je zřejmé, že pokud jsou v půdě k dispozici, je možné je extrahovat ve významných množstvích. Příjem prvků jako je uran nebo plutonium, které jsou značně odlišné rostlinných živin, je sice mnohem nižší, než je tomu u radionuklidů velice podobných rostlinným živinám, ale lze ho považovat jako potenciálně významný. Chemie těchto radionuklidů je složitá, ale přesto je možné, aby se vyskytovaly jako jednoduché anorganické ionty. I když tyto ionty nejsou analogické k iontům živin, může je rostlina přijímat.

Pro kvantifikaci účinnosti fytoremediace radionuklidů, se zavádí takzvaný transfer faktor definovaný: [14]

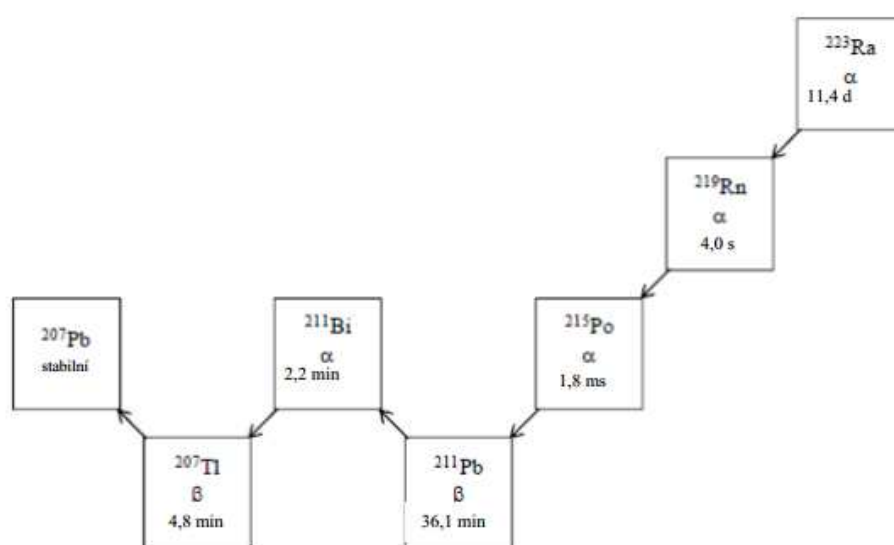
Rovnice 3: definice transfer faktoru

$$TF = \frac{\text{koncentrace radionuklidu v rostlině (Bq.kg}^{-1}\text{)}}{\text{koncentrace radionuklidu v půdě (Bq.kg}^{-1}\text{)}}$$

Nízká hodnota TF některých radionuklidů, je velkou překážkou výzkumu potenciální fytořemediace půd obsahující tyto radionuklidy. Proto se výzkumy zaměřují nejprve na stanovení TF pro daný radionuklid, půdu, rostlinu a další podmínky. Největší hodnoty TF se našly u cesia, kdy byly rostliny vysázeny na organické půdě v experimentálních podmínkách a dosáhlo se účinnosti fytořemediace až 60%. Obecně cesium je dobře fytořemediovatelné, jelikož se jedná o analog draslíku, proto když se prováděly experimenty na kontaminovaných polích, tak se dosahovalo velmi dobrých výsledků. Například v jižní americe na alluviálních a laterických půdách s hnojením NH_4NO_3 se dosáhlo účinnosti 22,9%, což je nejvyšší hodnota u experimentů prováděných na reálných stanovištích pro cesium. Pro stroncium, které je analogem vápníku, je nejvyšší hodnota fytořemediační účinnosti 25%. [21]

2.4 ^{223}Ra

Náš vzorek vznikl extrakcí daného radionuklidu z jehly, která byla použita k aplikaci léčiva Xofigo, obsahující jako účinnou látku ^{223}Ra chlorid. Tento radionuklid má poločas rozpadu 11,4 dnů a je především alfa zářič 95,3%, postranní reakce emitují záření beta 3,6% a v malém množství i gama 1,1%. [23]



Obrázek 3: řetězec rozpadu ^{223}Ra s poločasy a způsobem rozpadu

Přípravek je používán k léčbě dospělých mužů s kastrálně rezistentním karcinomem prostaty, který se vyznačuje tím, že zasahuje do kostních buněk. Léčba tímto radiofarmakem je vyloučena u pacientů s prokázaným výskytem viscerálních metastáz. Léčivo se vylučuje převážně ve stolici a asi 5% v moči. [23]

2.4.1 Účinky léčiva na organismus

Radium, stejně jako stroncium, se přirozeně komplexuje na hydroxyapatit v osteoblastických metastázovaných buňkách, které obsahují neopravitelnou DNA. Výhodou oproti přípravkům obsahující beta zářiče je, že většina energie rozpadu je uložena v energii alfa přeměny. Emitované záření má rozptyl menší než 100 μ m, což je 2-10 rakovinových buněk. Proto je plně soustředěno na metastazovanou oblast. Díky této krátké vzdálenosti minimalizuje riziko myelotoxicity. Částice alfa narušují ve vysoké frekvenci dvoušroubovici DNA dvouvláknovými zlomy, které se velmi špatně reparačním mechanismům odstraňují. Proto je buněčný cyklus nádorové buňky zastaven v G0 fázi a buňka se nemůže dále dělit. [24]

2.5 Regulátory růstu

Jako regulátory růstu lze označit, které mají vliv na růst a vývoj rostliny, a to od klíčení po dozrávání semen. Mohu to být jak látky přírodního přirozeného původu (fytohormony), nebo látky uměle vytvořené. Ty fungují tak, že blokují transport nebo funkci fytohormonů v rostlině. [12]

2.5.1 Fytohormony

Fytohormony jsou organické v rostlinách syntetizované látky, které při nízkých koncentracích regulují růst a vývoj rostliny, aniž by se při těchto procesech měnily. Působí buď v místě svého vzniku, nebo jsou transportovány do jiných částí rostlin. Mají dvojí funkci, buď se podílejí na vývoji rostliny a koordinaci vztahů mezi buňkami, pletivý, orgány, nebo přenášejí signály z vnějšího prostředí do rostliny. Produkce fytohormonů není vázaná na danou organelu, ale probíhá v různých pletivech různých částí rostliny, také probíhá různě rychle. Většinou tato produkce podmíněna nějakým faktorem z vnějšího prostředí. Produkce je také přísně a rychle regulována biosyntézou, inaktivací, degradací a transportem, proto jsou v buňkách ve velmi nízkých koncentracích (10^{-6} - 10^{-9} M a nižších) a při nich také působí. Fytohormony se rychle

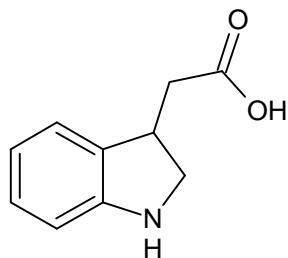
inaktivují díky konjugaci nebo oxidaci. Tím se zabraňuje hromadění aktivní formy fytohormonu v místě působení. Jejich zvláštností oproti živočišným hormonům je jejich možnost působit pleiotropně, ve více směrech, tedy jeden fytohormon může vyvolávat rozdílné účinky v různých pletivech, ale i ve stejném pletivu v různých koncentracích. Tyto látky mohou působit buď po několika minutách, hodinách, dnech až týdnech. Transport probíhá vodivými drahami, nebo z buňky do buňky. Fytohormony působí jako regulační signály. Naváží se na receptor v cytoplasmatické membráně a signál je přenesen do cílového místa. Umístění cílového místa je určeno podle typu hormonu. Některá cílová místa jsou v jádře, kde dochází ke změně genové exprese, nebo v buněčné membráně, kde signál vyvolá změnu transmembránového transportu. Existuje 5 základních typů fytohormonů: auxiny, cytokininy, giberiliny, kyselina abscisová a etylen. Dále existuje několik skupin látek, které jsou fytohormonům podobné, jako jsou brassinosteroidy, jasmonáty, polyaminy, oligosacharidy, některé fenolické sloučeniny, peptidový regulátor systemin a další. Látky podobné fytohormonům se většinou používají na ochranu rostliny při napadení škůdci. [12]

2.5.2 Stimulátory růstu

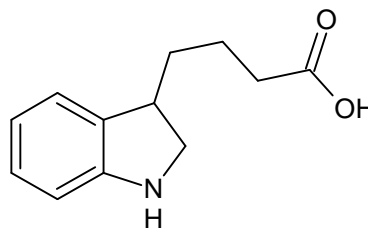
Za stimulátory můžeme považovat skupiny Auxinů, cytokininů a giberilinů a z látek podobných fytohormonům můžeme uvažovat brassinosteroidy

2.5.2.1 Auxiny

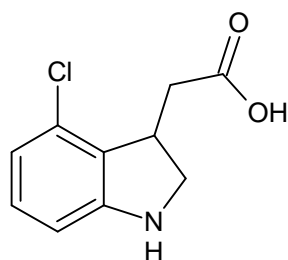
Prvním známým fytohormonem a hlavním auxinem je kyselina indol-3-octová (IAA), neboli auxin. Dalšími zástupci auxinů jsou kyselina indol-3-máselná (IBA), kyselina 4-chlorindol-3-octová (4-Cl-IAA) a kyselina fenylactová.



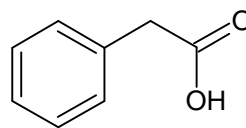
kyselina indol-3-octová (IAA)



kyselina indol-3-máselná (IBA)



kyselina 4-chlorindol-3-octová
(4-Cl-IAA)



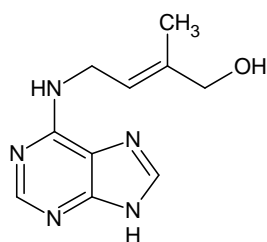
kyselina fenyloctová

IAA se tvoří hlavně v mladých apikálních pletivech, odkud je transportována do celé rostliny. Na dlouhou vzdálenost je transportována vodivými pletivy, především floémem. Existuje i tzv. polární transport, který probíhá v nadzemních částech rostliny a kořenech jak na krátkou tak i dlouhou vzdálenost. Polární transport je aktivní proces, proto vyžaduje energii a je jedním z hlavních faktorů fyziologické polarity rostlin. Do buňky IAA vstupuje buď jako nedisociovaná molekula pasivní difuzí, nebo jako aniont prostřednictvím přenašeče. Z buňky je transportována jako aniont.

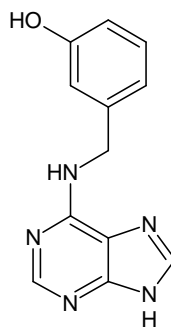
Auxin reguluje mnoho růstových a vývojových procesů. Stimuluje buněčné dělení, dlouhivý růst a buněčnou diferenciaci. Na orgánové úrovni stimuluje tvorbu adventivních kořenů. Polárně distribuovaný auxin je zdrojem poziční informace buňkám a tím jedním z hlavních faktorů celistvosti rostliny. V praxi se většinou nepoužívá IAA, ale auxiny syntetické, jelikož jsou stálější. Jedná se o kyselinu α -naftyloctovou (NAA) a kyselinu 2,4-dichlorfenyloctovou (2,4-D). Přidávají se do živných médií pro kultivaci rostlinných buněk a pletiv *in vitro*. NAA a IBA se používají jako stimulanty zakořeňování rostlinných řízků. [12]

2.5.2.2 Cytokininy

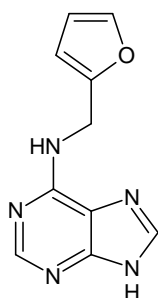
Prvním přirozeným cytokininem je zeatin, který byl izolován z nezralého endospermu kukuřice. Dnes je známo přes 30 přirozených cytokininů. Jsou to látky odvozené od adeninu substituovaného na aminoskupině v poloze 6. Prvním nejdůležitějším zástupcem cytokininů je zeatin, který má na aminoskupině adeninu hydroxyisopentenylovou skupinu. Druhým je 3-topolin, který má na aminoskupině adeninu 3-hydroxy-benzyl.



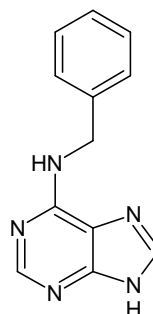
zeatin



3-topolin
(3-hydroxy-benzylaminopurin)



kinetin

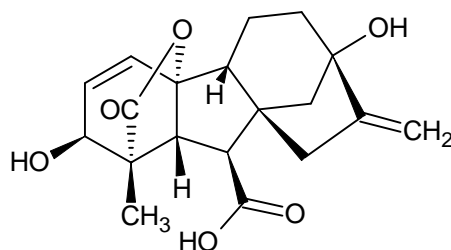


6-benzylaminopurin (BAP)

Cytokiny se syntetizují v intenzivně rostoucích částech rostliny, zvláště v meristémích rostoucích kořenů a jsou transportovány xylémem i floémem. Stimulují buněčné dělení, syntézu bílkovin, chlorofylu, škrobu, tvorbu pupenů a zabraňují stárnutí pletiv. Používají se jako složka živných medií pro kultivaci rostlinných buněk, pletiv a orgánů. V zahradnických aplikacích slouží k indukci větvení stonků některých okrasných rostlin. V praxi se využívají syntetické cytokiny kinetin a BAP (benzylaminopurin). [12]

2.5.2.3 Gibereliny

Jsou cyklické diterpeny, které mají tzv. gibanovou strukturu. Dnes známe více než 100 giberilinů. Gibereliny jsou syntetizovány hlavně v rostoucích pletivech. Transport probíhá floémem a xylémem. Stimulují dlouhý růst a klíčení semen. Vyvolávají kvetení dlouhodobých rostlin a ovlivňují pohlaví květů. V praxi se používají k zvýšení produkce sladu tím, že stimulují tvorbu α -amylasy. Dále se používají v ovocnářství, kde se postřikem zvyšuje násada plodů. [12]



kyselina giberelová

2.5.2.4 Brassionsteroidy

Skupina více než třiceti fyziologicky aktivních steroidů přítomných v různých orgánech mnoha rostlinných druhů. Nejrozšířenější jsou brassinolid, castasteron a typhasteron. Při velmi nízkých koncentracích (10^{-8} - 10^{-10} M) stimulují dlouhivý růst a významně zvyšují odolnost rostlin proti nízkým teplotám a suchu. [12]

2.5.2.5 Přípravky obsahující regulátory růstu

Všechny dostupné přípravky musí splňovat zákonem stanovené limity v mg.kg^{-1} pro pomocné látky: kadmium 1; olovo 10; rtuť 1,0; arsen 10; chrom 50.

ATONIK

ATONIK jako účinnou látku obsahuje 2-methoxy-5-nitrofenolát sodný (1 g.l^{-1}), 2-nitrofenolát sodný (2 g.l^{-1}) a 4-nitrofenolát sodný (3 g.l^{-1}). Tyto účinné látky ovlivňují proudění plasmu v buňce, což má za následek lepší zakořeňování, příjem živin a intenzivnější růst. Dále tyto látky mají antistresové účinky. Nutno dodat že nízkomolekulární fenolické látky mohou ovlivnit rychlost odbourávání auxinů, proto aplikace v raných fázích vývoje a v období intenzivního růstu by mohla ovlivnit diferenciaci a růst kořenů. [25]

REXAN

Dalším dostupným stimulatorem růstu je přípravek REXAN, který jako účinné látky obsahuje kyselinu 2-aminobenzoovou (1 g.l^{-1}) a 4-hydroxyacetanilid (3 g.l^{-1}). Dříve se používal před květem řepky olejné, ale dnes se použití rozšířilo na ozimé a jarní obiloviny, kdy se používá v raných vývojových fázích. [26]

SUNAGREEN

Přípravek SUNAGREEN obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-aminobenzoovou (5 g.l^{-1}) a kyselinu 2-hydroxybenzoovou ($2,5 \text{ g.l}^{-1}$). SUNAGREEN je určen pro stimulaci růstu a vývoje rostlin, optimalizuje počet produktivních odnoží obilovin a k navýšení výnosu a kvality. Používá se i k zvýšení výnosu a kvality cukrovky a brambor. [27]

Vermaktiv

Je ekologický přípravek, který obsahuje kyselý alkoholicko-vodní výluh vermikompostu. Jedná se o frakcionovaný, speciálně upravený extrakt z živočišných a rostlinných buněk. Obsahuje organicky vázaný dusík a fosfor. Dále je zde obsaženo několik skupin aminokyselin, enzymů, fytostimulátory, humusové látky, cytokininy, auxiny a další látky jako je kyselina anthranilová, kyselina aminooctová a stopové prvky. Přípravek je vstřebáván kořenovým systémem a pletivem rostlin, proto nastupuje účinek velice rychle a je nutno přípravek dávkovat ve velmi malých množstvích. Jelikož se jedná o přípravek z přírodních látek, nedochází ke kumulaci zdraví škodlivých látek jak v rostlině, tak i v půdě. Přebytek přípravku, který se vsákne do půdy, zvyšuje množství půdních bakterií, zabraňuje tvorby plísní a zlepšuje asimilační vlastnosti kořenového systému. Přípravek tedy zvyšuje výnosy, odolnost proti chorobám a škůdcům, kvalitu plodů a celkově zdravotní stav rostlin. [28]

RACINE

Přípravek RACINE jako účinnou látku obsahuje 2-nitrofenolát sodný (2 g.l^{-1}), 4-nitrofenolát sodný (3 g.l^{-1}), 2-metoxy-5-nitrofenol sodný (1 g.l^{-1}) a kyselinu 1-naftyloctovou. Přípravek je speciální roztok aromatických nitrosloučenin a syntetického auxinu (kyselina 1-naftyloctová (NAA)). Auxinová složka zapřičiňuje stimulaci dělení buněk a aromatické sloučeniny působí na pohyb plasmy v rostlinných buňkách, tím podporují důležité transportní procesy, vitalitu a růst buněk. Přípravek se používá pro podporu zakořeňování rostlinných řízků a je vhodná pro podporu růstu rostlin po výsadbě. [29]

Stimulátor Z

Přípravek Stimulátor Z obsahuje kyselinu anthranilovou (1 g.l^{-1}) a 4-methyl-2-nitrofenol ($1,5 \text{ g.l}^{-1}$)

3 Experimentální část

3.1 Použitý materiál, chemikálie, přístroje a metody

3.1.1 Chemikálie

Pro přípravu kultivačního média dle Murashiga a Skooga[30] média byly použity anorganické chemikálie a sacharóza v čistotě p.a. (Lach-Ner). *Myo*-inositol, anthranilová kyselina, ethylendiamintetraoctová kyselina, 2-methoxy-5-nitrofenolát sodný, 2-nitrofenolát sodný, 4-nitrofenolát sodný, kyselina 2-aminobenzoová, 4-hydroxyacetanilid, kyselina 2-hydroxybenzoová, 2-methoxy-5-nitrofenolát sodný, 4-methyl-2-nitrofenol byly pořízeny od firmy Sigma-Aldrich v čistotě 99.9 %. Přípravky Atonic, Stimulátor Z, Sunagreen, Rexan, Racine byly připraveny z chemikálií dle publikovaného složení. Ke sterilizaci byl použit přípravek SAVO (chlornan sodný) a ethanol (Lach-Ner). Přípravky Vermaktiv Stimul a Vermaktiv RP byly získány od firmy Enzymix s.r.o.. Roztok ^{223}Ra ve formě nitrátu byl poskytnut Katedrou jaderné chemie FJFI ČVUT v Praze.

3.1.2 Rostlinný materiál

Jako biologický materiál byla použita semena těchto dvou rostlinných druhů a odrůd:

- Kukuřice setá (*Zea mays*) *DKC4014 (Monsanto ČR)*
- Oves setý (*Avena sativa*) *Cat Grass (Johnson seeds UK)*

3.1.3 Přístroje

Při přípravě kultur a při přidávání substrátu byl pro dodržení sterilních podmínek použit laminární box LABOX FBB120 (Labox ČR), média byla sterilizována v komerčním tlakovém hrnci (Tescoma), pH medií bylo nastaveno pomocí ISFET pH metru MiniLab (Scientific instruments, USA). Kultivace byly prováděny při teplotě 24°C za osvětlení 12 h světlo, 12 h tma, osvětlení bylo realizováno zářivkovými trubicemi white cool, 1150 lm/m² ze vzdálenosti 40 cm. K měření radioaktivity byl

použit detektor plošné kontaminace Berthold LB122 a sestava RFT se scintilační sondou (NaI(Tl)). Fotodokumentace byla pořízena přístrojem Nikon Coolpix P520 a zpracována programem Adobe Photoshop.

3.2 Příprava *in vitro* kultur

Semena kukuřice a ovesa byla před nasazením do sterilního média, odmaštěna 70% ethanolem po dobu 30 sekund. Ten byl poté slit a k semenům byl přidán roztok chlornanu sodného (20% SAVO) a po dobu 10 minut se semena v tomto roztoku sterilizovala. Po uplynutí této doby byl sterilizační roztok odlit a znovu byl přidán roztok chlornanu sodného (10% SAVO). V tomto roztoku byla semena ponechána 20 minut. Poté byla semena v laminárním boxu třikrát promyta sterilní destilovanou vodou. Po třetím promytí byla ponechána v této vodě ponechána k další manipulaci. Sterilizovaná semena byla vysázena v laminárním boxu za sterilních podmínek do sterilních baněk s živným médiem. Semena kukuřice se sázela do 500ml Erlenmeyerových baněk s 10 ml živného media podle Murashiga a Skooga [30], které bylo obohaceno o myo-inositol (100 mg.l^{-1}) a sacharosu (30 g.l^{-1}), pH bylo upraveno před sterilizací na hodnotu 5,8. Baňky byly za sterilních podmínek uzavřeny alobalem a umístěny do kultivační místnosti s konstantní teplotou 24°C a světelným režimem 12 h světlo, 12 h tma. Jako zdroj světla byly použity běžné zářivkové trubice (white cool) ve vzdálenosti 40 cm ode dna baněk. Pro semena ovesa byly použity 250 ml baňky s 5 ml kultivačního media popsáno výše. Po dvou týdnech kultivace byly rostliny přeneseny do sterilních plastových nádob. K rostlinám se přidalo 50 ml živného media popsáno výše, bez sacharózy. Rostliny byly v plastových nádobách po dobu jednoho týdne a kultivovaly se za stejných podmínek jako skleněné baňky. Po jednom týdnu v plastových nádobách byly rostliny dostatečně veliké na to, aby se daly použít pro další experimenty.

3.3 Fytoextrakce ^{223}Ra

Za sterilních podmínek byly z plastových nádob odstraněny zbytky původního živného média a byl přidán roztok ^{223}Ra (ca. 50 kBq) ve sterilizované vodovodní vodě s přídavkem vybraného stimulátoru růstu ($100 \text{ }\mu\text{l/l}$). Ihned po přidání byla změřena aktivita v celé plastové nádobě, pomocí G-M přístroje plošné kontaminace a scintilační sondou. Fytoextrakce probíhala po dobu 7 dnů za kultivačních podmínek, popsanych

výše. Po 7 dnech byly rostliny z plastových nádob vyndány, opláchnuty destilovanou vodou a nechaly se po dobu jednoho až tří dnů sušit volně na vzduchu. Usušené rostliny byly následně měřeny pomocí elektronické autoradiografie po dobu 1 hodiny. Po změření se vyhodnotila aktivita v kořenech a nadzemní části. Kontrolní pokusy byly prováděny stejně, pouze bez přídavku růstového stimulatoru.

4 Výsledky a diskuze

Primárním výsledkem studie je popis schopnosti vybraných rostlin extrahovat radionuklid ^{223}Ra , který je součástí radiofarmaka Xofigo, z uměle kontaminovaného média. Ve standardním systému se jedná o několikadenní kultivaci s cílem stanovit finální koncentraci a rozložení aktivity v rostlině v závislosti na použitém stimulantu růstu. Zajímavá je ovšem i bezprostřední fáze po přidání kontaminovaného média, kdy dochází jak k sorpci extrahovaného materiálu na kořeny použitých rostlin a současně k fytoextrakčnímu ději. Proces je zřejmě následován postupným ustavením sorpční rovnováhy mezi povrchem kořenů a kontaminovaným médiem.

4.1 Experimenty s kukuřicí setou (*Zea mays*)

4.1.1 přidavek EDTA

K rostlinám byla přidána spolu s ^{223}Ra etylendiamintetraoctvá kyselina (EDTA) v koncentraci 1 g.l^{-1} . EDTA je komplexační činidlo, běžně se používá ke zvýšení fytoextrakce těžkých kovů, kdy se předpokládá, že vzniklý komplex bude vykazovat vyšší biologickou dostupnost.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

Tabulka 1: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem EDTA

Exp. číslo	přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
1	EDTA	308	142	201	59	29
2	EDTA	247	134	161	27	17
Průměr		277,5	138	181	43	24

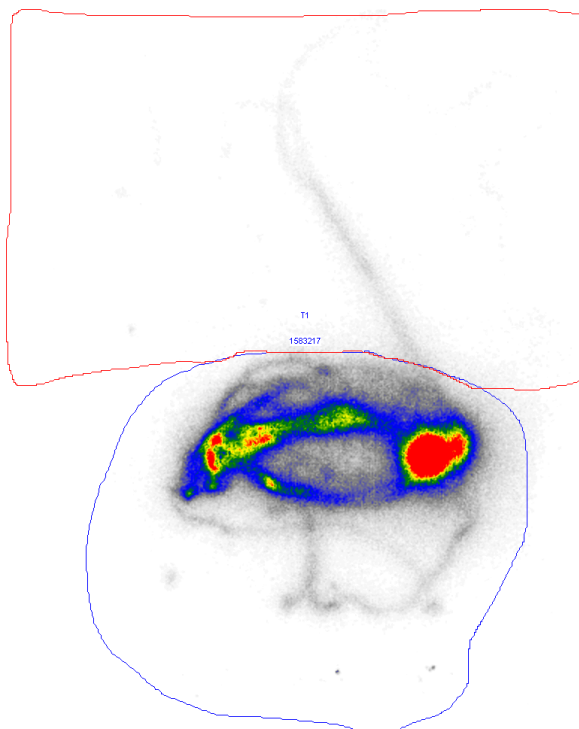
* Měřeno detektorem plošné kontaminace

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 2: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem EDTA

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
1.1	1583217	80338	1663555	440	22	462	95,1707	4,829296
1.2	1063976	98763	1162739	296	27	323	91,506	8,493996
2.1	1192392	291331	1483723	331	81	412	80,36487	19,63513
2.2	1165265	1133279	2298544	324	315	638	50,69579	49,30421
Průměr	1251213	400927	1652140	348	111	459	79	21

Rozložení aktivity v experimentu 1.1



Experiment 1.1



Obrázek 4: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem EDTA

4.1.2 Příklad SUNAGREEN

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek SUNAGREEN, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-aminobenzoovou a kyselinu 2-hydroxybenzoovou.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

Tabulka 3: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
3	SUNAGREEN	290	98	189	91	48

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 4: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
3.1	1436852	508669	1945521	399	141	540	74	26
3.2	1988671	340396	2329067	552	95	647	85	15
3.3	1288835	166744	1455579	358	46	404	89	11
3.4	2391447	92683	2484130	664	26	690	96	4
Průměr	1776451	277123	2053574	493	77	570	86	14



Obrázek 5: Rozložení aktivity v experimentu s přídatkem SUNAGREEN

4.1.3 Přídavek REXAN

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek REXAN, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-aminobenzoovou a 4-hydroxyacetanilid.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

Tabulka 5: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídatkem REXAN

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
5	REXAN	280	109	183	74	40
6	REXAN	260	99	170	71	42
Průměr		270	104	176	72	41

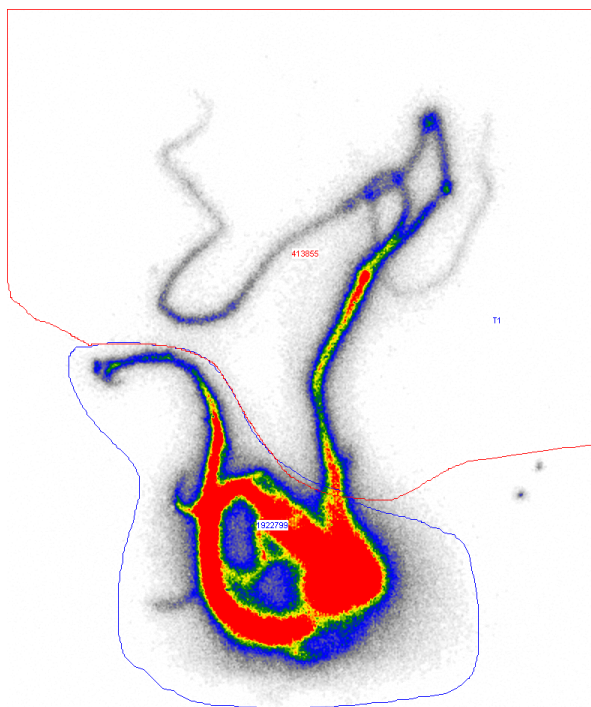
* Měřeno detektorem plošné kontaminace

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 6: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem REXAN

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
5.1	2053560	243624	2297184	570	68	638	89	11
5.2	1419708	455259	1874967	394	126	521	76	24
6.1	1677972	513628	2191600	466	143	609	77	23
6.2	1922799	413855	2336654	534	115	649	82	18
Průměr	1768510	406592	2175101	491	113	604	81	19

Rozložení aktivity v experimentu 6.2



Experiment 6.2



Obrázek 6: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem REXAN

4.1.4 Příklad A TONIK

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek ATONIK, který obsahuje jako účinnou látku 2-methoxy-5-nitrofenolát sodný, 2-nitrofenolát sodný a 4-nitrofenolát sodný.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

Tabulka 7: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídatkem ATONIK

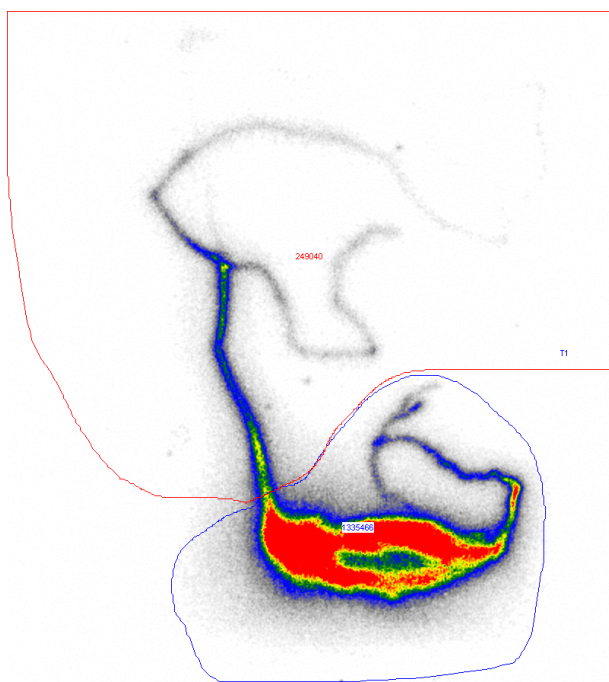
Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
7	ATONIK	282	105	184	79	43
8	ATONIK	285	112	186	74	40
Průměr		283,5	108,5	185	77	41

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 8: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídatkem ATONIK

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
7.1	2069140	395509	2464649	575	110	685	84	16
7.2	1248205	234615	1482820	347	65	412	84	16
8.1	1908727	217155	2125882	530	60	591	90	10
8.2	1335466	249040	1584506	371	69	440	84	16
průměr	1640385	274080	1914464	456	76	532	86	14



Obrázek 7: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

4.1.5 Přídavek Stimulátor Z

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek Stimulátor Z, který jako účinnou látku obsahuje anthranilovou kyselinu a 4-methyl-2-nitrofenol.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 9: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
8	SZ	102	52	296	98	193	95	49
9	SZ	94	27	280	63	183	120	66
Průměr		98	39,5	288	81	188	108	57

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

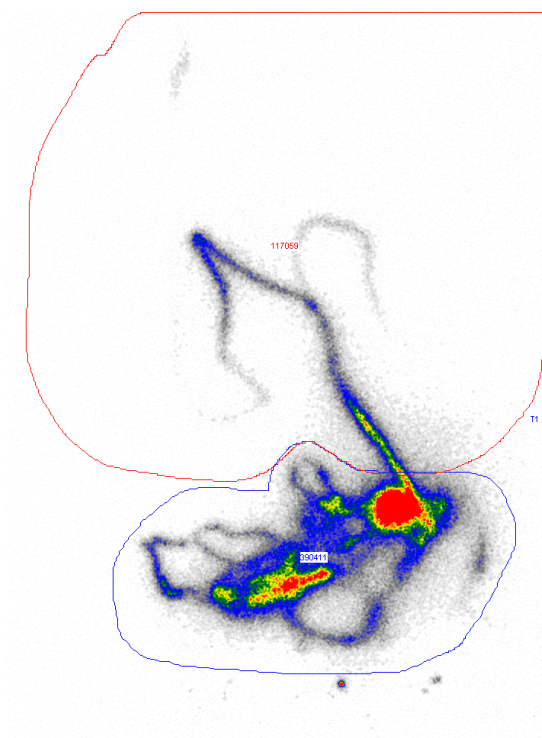
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 10: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
8	217827	90985	308812	61	25	86	71	29
9	390411	117059	507470	108	33	141	77	23
průměr	304119	104022	408141	84	29	113	74	26

Rozložení aktivity v experimentu 9



Experiment 9



Obrázek 8: Rozdělení aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

4.1.6 Přídavek RACINE

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek RACINE, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-nitrofenolát sodný, 4-nitrofenolát sodný, 2-metoxy-5-nitrofenol sodný a kyselinu 1-naftyloctovou.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 11: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
10	RACINE	97	27	287	59	188	129	69
11	RACINE	94	28	287	58	188	130	69
Průměr		95,5	27,5	287	59	188	129	69

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

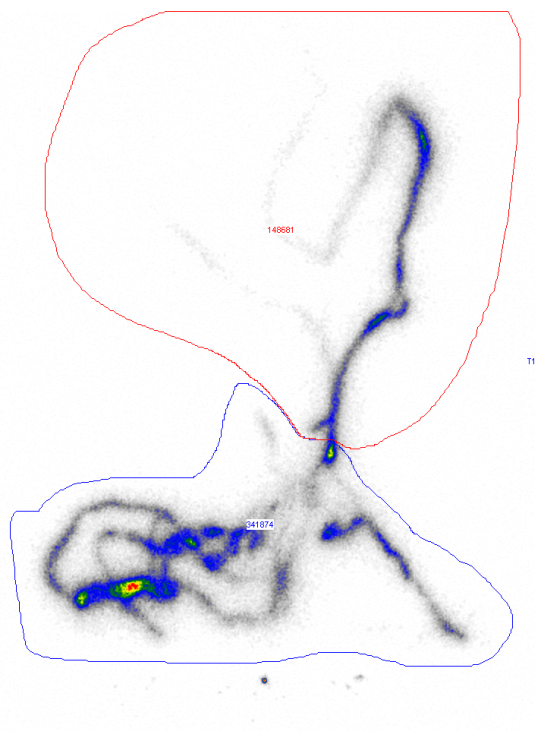
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

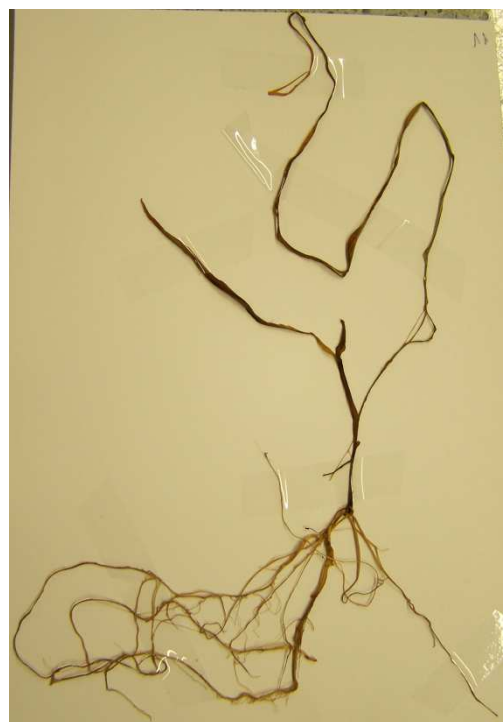
Tabulka 12: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem RACINE

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
10	328128	89117	417245	91	25	116	79	21
11	341874	148681	490555	95	41	136	70	30
průměr	335001	118899	453900	93	33	126	74	26

Rozložení aktivity v experimentu 11



Experiment 11



Obrázek 9: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

4.1.7 Přídavek VERMAKTIV

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek VERMAKTIV, jedná se o ekologický přípravek a obsahuje kyselý alkoholicko-vodní výluh vermikompostu.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 13: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
12	VERMAKTIV	93	36	289	85	189	104	55
13	VERMAKTIV	101	28	301	48	197	149	76
Průměr		97	32	295	66,5	193	126	65

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

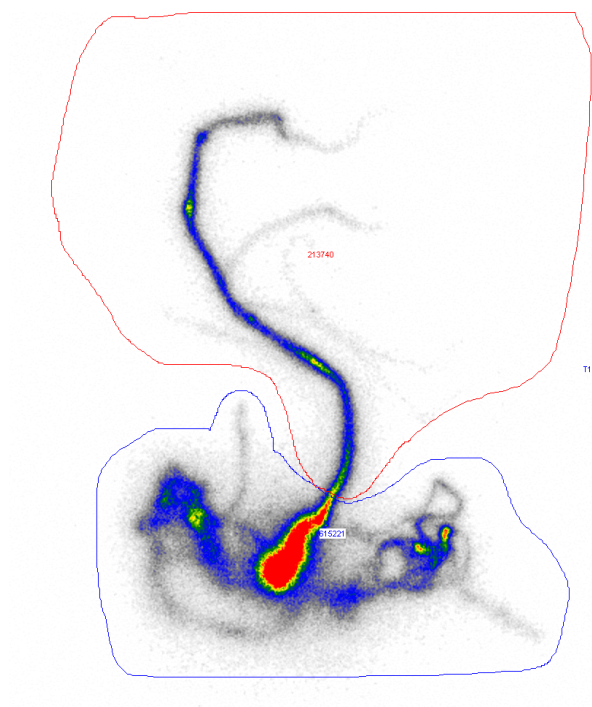
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 14: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny za sekundu	Aktivita list za sekundu	Aktivita celkem za sekundu	% kořeny	% list
12	615221	213740	828961	171	59	230	74	26
13	1965613	174218	2139831	546	48	594	92	8
průměr	1290417	193979	1484396	358	54	412	83	17

Rozložení aktivity v experimentu 12



Experiment 12



Obrázek 10: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

4.1.8 Příklad VERMAKTIV RP

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek VERMAKTIV RP.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 15: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
14	VERMAKTIV RP	107	29	299	54	195	141	72
15	VERMAKTIV RP	111	30	304	60	199	139	70
Průměr		109	29,5	302	57	197	140	71

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

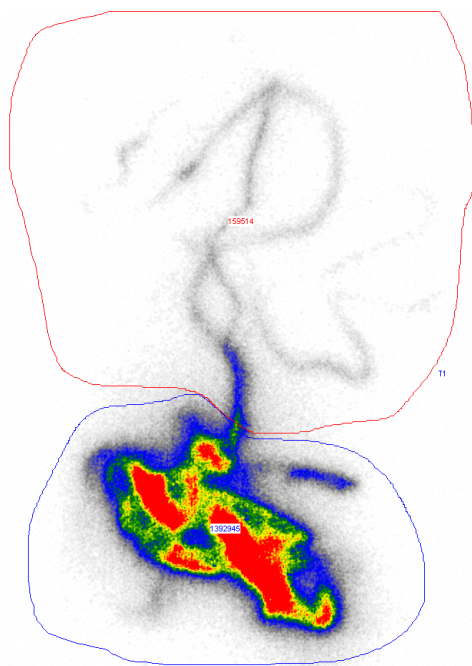
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 16: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
14	236525	56527	293052	66	16	81	81	19
15	1392945	159514	1552459	387	44	431	90	10
průměr	814735	108021	922756	226	30	256	85	15

Rozložení aktivity v experimentu 15



Experiment 15



Obrázek 11: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

4.1.9 Bez přidavku

K rostlinám bylo přidáno pouze ^{223}Ra . Tento experiment byl zařazen do výsledků z důvodu slepého pokusu.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 17: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu bez přidavku stimulantu růstu

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
16	KONTROLA	106	27	279	49	182	133	73
17	KONTROLA	107	30	314	49	205	156	76
Průměr		106,5	28,5	297	49	194	145	75

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

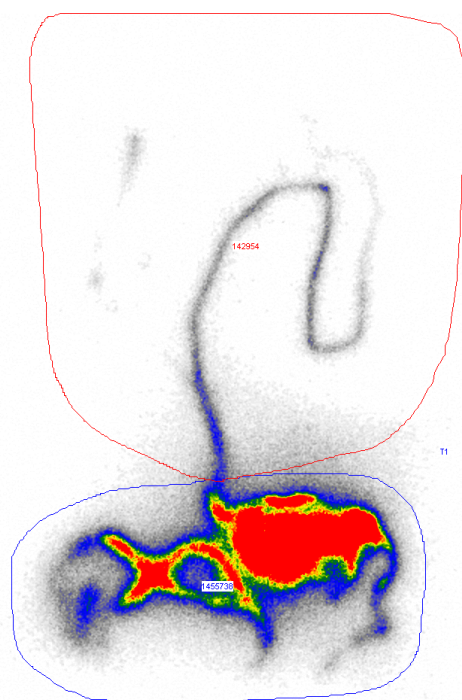
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 4 -5 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 18: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu bez přidavku stimulatoru růstu

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
16	1980025	102125	2082150	550	28	578	95	5
17	1455738	142954	1598692	404	40	444	91	9
průměr	1717882	122540	1840421	477	34	511	93	7

Rozložení aktivity v experimentu 17



Experiment 17



Obrázek 12: Rozložení aktivity v experimentu bez přidavku stimulatoru růstu

4.1.10 Souhrn výsledků

Tabulka 19: souhrn výsledků pro experimenty s kukuřicí setou

Kultivace	Regulátor	% v kořenech	% v listu	% záchyt
1	EDTA	79	21	24
2	SUNAGREEN	86	14	48
3	REXAN	81	19	41
4	ATONIK	86	14	41
5	STIMULÁTOR Z	74	26	57
6	RACINE	74	26	69
7	VERMAKTIV	83	17	65
8	VERMAKTIV RP	85	15	71
9	KONTROLA	93	7	75

4.2 Experimenty s ovsem setým (*Avena sativa*)

4.2.1 Přídavek EDTA

K rostlinám byla přidána spolu s ^{223}Ra ethylendiamintetraoctová kyselina (EDTA) v koncentraci 1 g.l^{-1} . EDTA je komplexační činidlo, běžně se používá ke zvýšení fytoextrakce těžkých kovů, kdy se předpokládá, že vzniklý komplex bude vykazovat vyšší biologickou dostupnost.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

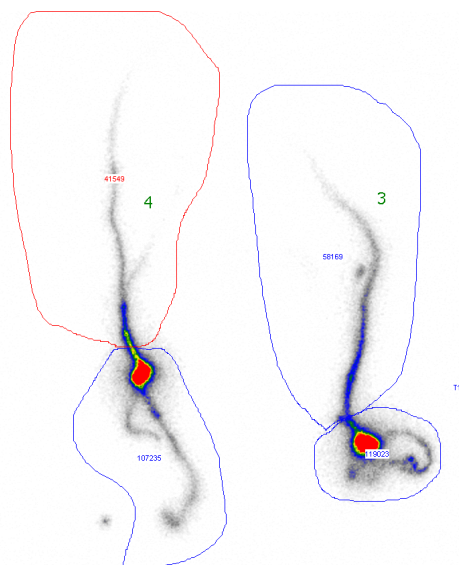
Tabulka 20: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem EDTA

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
9	EDTA	305	207	199	-	-
10	EDTA	337	205	220	-	-
průměr		321	206	210	-	-

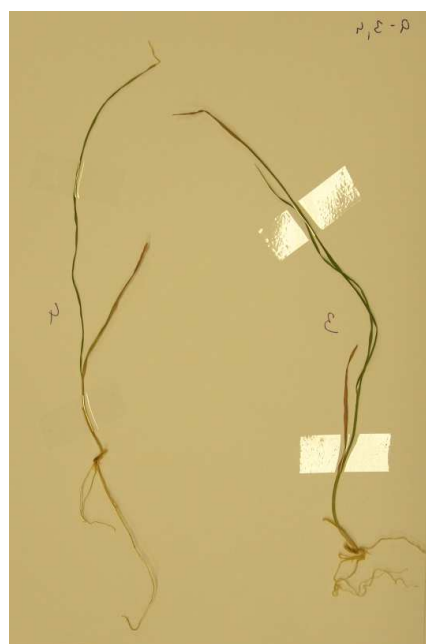
* Měřeno detektorem plošné kontaminace, záchyt byl minimální a nemohl být vzhledem k chybě měření číselně vyhodnocen.

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Rozložení aktivity v experimentu 9.3 a 9.4



Experiment 9.3 a 9.4



Obrázek 13: Rozložení aktivity v experimentu s přísávkem EDTA

Tabulka 21: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přísávkem EDTA

Exp. č.	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
9.1	192523	35022	227545	53	10	63	85	15
9.2	189771	75474	265245	53	21	74	72	28
9.3	119023	58169	177192	33	16	49	67	33
9.4	107235	41549	148784	30	12	41	72	28
10.1	219993	67693	287686	61	19	80	76	24
10.2	213139	65508	278647	59	18	77	76	24
10.3	226622	65715	292337	63	18	81	78	22
10.4	229587	93245	322832	64	26	90	71	29
průměr	187237	62797	250034	52	17	69	75	25

4.2.2 Přídavek Stimulátor Z

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek Stimulátor Z, který jako účinnou látku obsahuje anthranilovou kyselinu a 4-methyl-2-nitrofenol.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 22: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem Stimulátoru Z

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
1	SZ	131	58	316	142	206	64	31

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

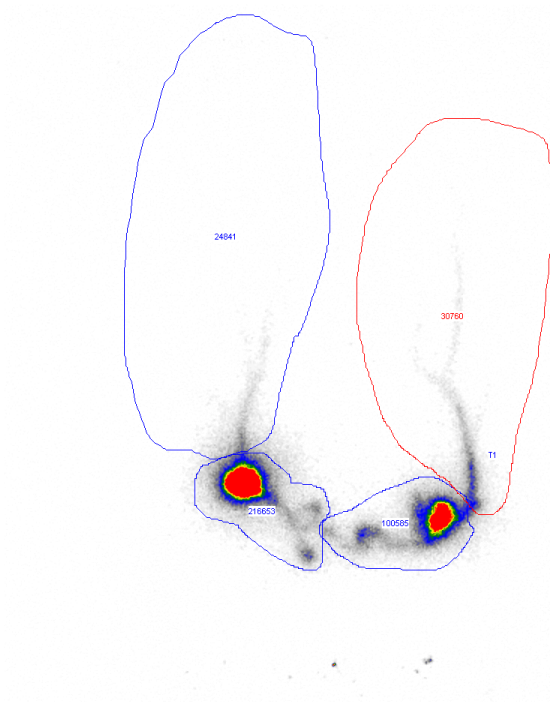
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 23: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem Stimulátoru Z

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
1.1	100585	30760	131345	28	9	36	77	23
1.2	216653	24841	241494	60	7	67	90	10
1.3	137921	32235	170156	38	9	47	81	19
průměr	151720	29279	180998	42	8	50	82	18

Rozložení aktivity v experimentu 1.1 a 1.2



Experiment 1.1 a 1.2



Obrázek 14: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

4.2.3 Přídavek RACINE

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek RACINE, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-nitrofenolát sodný, 4-nitrofenolát sodný, 2-metoxy-5-nitrofenol sodný a kyselinu 1-naftyloctovou.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 24: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
2	RACINE	108	56	340	109	222	113	51

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

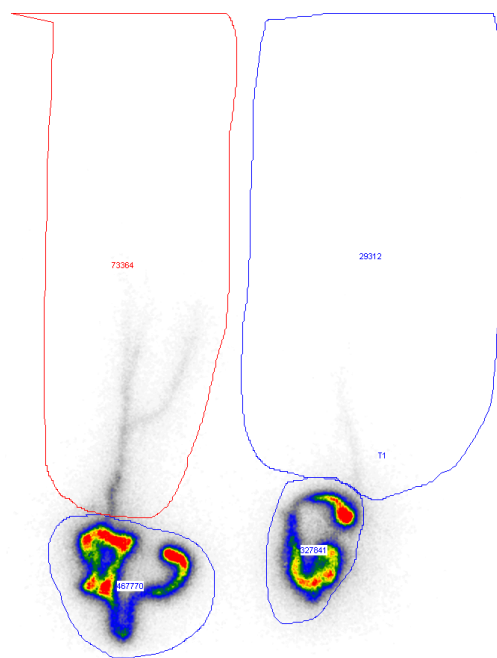
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 25: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem RACINE

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
2.1	327841	29312	357153	91	8	99	92	8
2.2	467770	73364	541134	130	20	150	86	14
2.3	169382	31195	200577	47	9	56	84	16
průměr	321664	44624	366288	89	12	102	88	12

Rozložení aktivity v experimentu 2.1 a 2.2



Experiment 2.1 a 2.2



Obrázek 15: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

4.2.4 Příklad VERMAKTIV

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek VERMAKTIV, jedná se o ekologický přípravek a obsahuje kyselý alkoholicko-vodní výluh vermikompostu.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 26: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlině 13.6. **	Záchyt %
3	VERMAKTIV	105	55	343	93	224	131	59

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

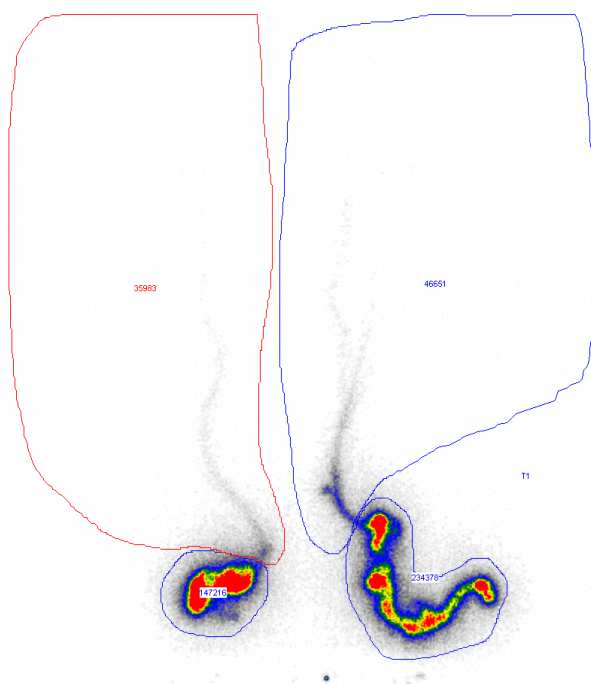
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 27: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
3.1	234378	46651	281029	65	13	78	83	17
3.2	147216	35983	183199	41	10	51	80	20
3.3	52898	25794	78692	15	7	22	67	33
průměr	144831	36143	180973	40	10	50	77	23

Rozložení aktivity v experimentu 3.1 a 3.2



Experiment 3.1 a 3.2



Obrázek 16: Rozložení aktivity v experimentu s přídatkem VERMAKTIV

4.2.5 Přídavek VERMAKTIV RP

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek VERMAKTIV RP.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 28: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídatkem VERMAKTIV RP

Exp. číslo	přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
4	VERMAKTIV RP	105	52	324	124	212	88	41

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

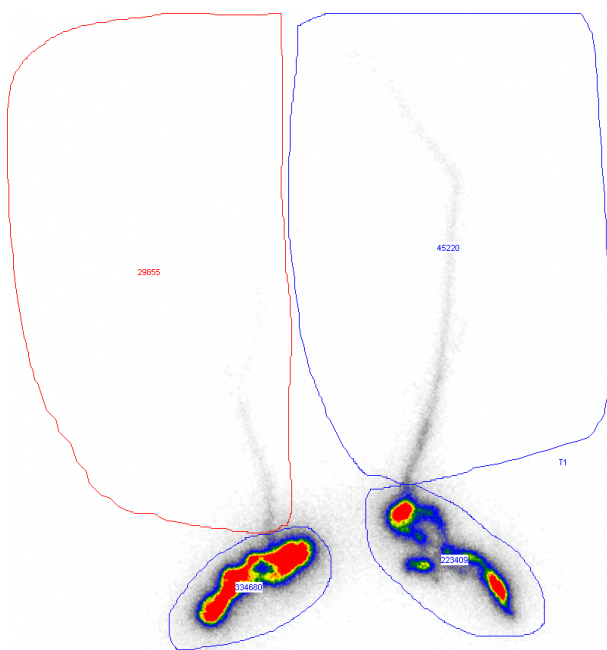
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 29: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
4.1	223409	45220	268629	62	13	75	83	17
4.2	334680	29855	364535	93	8	101	92	8
4.3	387541	28402	415943	108	8	116	93	7
průměr	315210	34492	349702	88	10	97	89	11

Rozložení aktivity v experimentu 4.1 a 4.2



Experiment 4.1 a 4.2



Obrázek 17: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

4.2.6 Bez přídatku

K rostlinám bylo přidáno pouze ^{223}Ra . Tento experiment byl zařazen do výsledků z důvodu slepého pokusu.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 30: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu bez přídatku stimulatoru růstu

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
5	KONTROLA	113	27	346	37	226	189	84

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

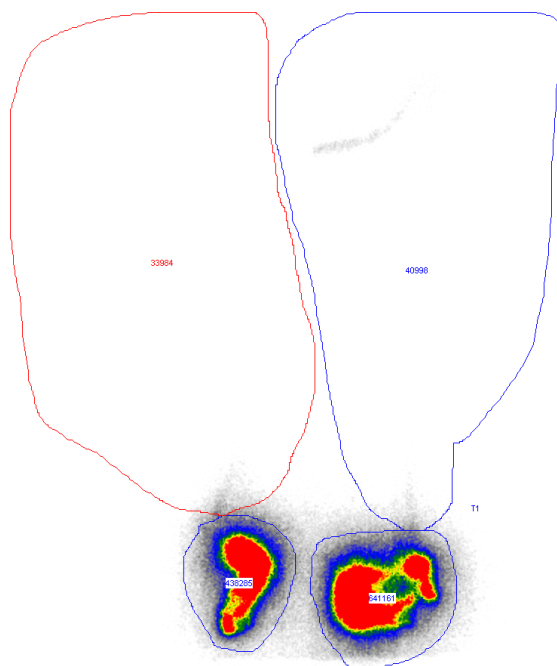
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 31: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu bez přídatku stimulatoru růstu

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
5.1	641161	40998	682159	178	11	189	94	6
5.2	438285	33984	472269	122	9	131	93	7
5.3	725012	30733	755745	201	9	210	96	4
průměr	601486	35238	636724	167	10	177	94	6

Rozložení aktivity v experimentu 5.1 a 5.2



Experiment 5.1 a 5.2



Obrázek 18: Rozložení aktivity v experimentu bez přidavku stimulatoru růstu

4.2.7 Přídavek SUNAGREEN

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek SUNAGREEN, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-aminobenzoovou a kyselinu 2-hydroxybenzoovou.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 32: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Exp. číslo	Přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
6	SUNAGREEN	103	28	334	38	218	180	83

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

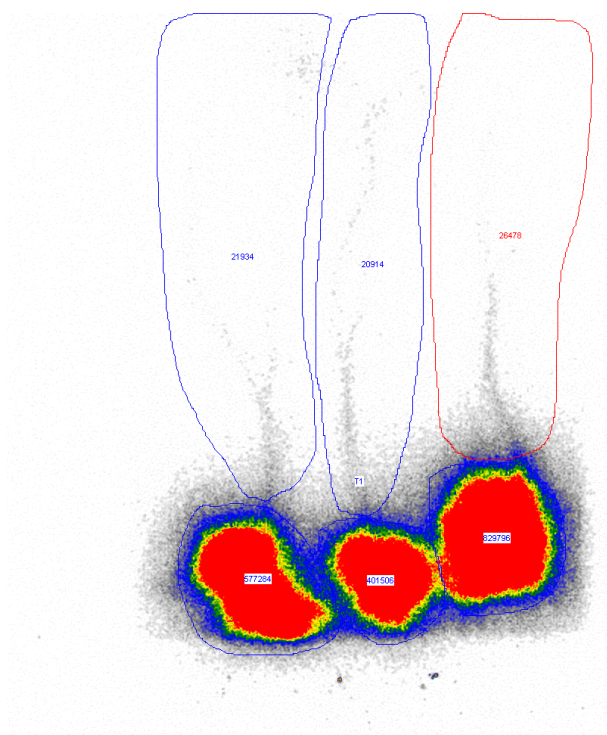
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 33: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídatkem SUNAGREEN

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
6.1	577284	21934	599218	160	6	166	96	4
6.2	401506	20914	422420	112	6	117	95	5
6.3	829796	26478	856274	230	7	238	97	3
průměr	602862	23109	625971	167	6	174	96	4

Rozložení aktivity v experimentu 6.1, 6.2 a 6.3



Experiment 6.1, 6.2 a 6.3



Obrázek 19: Rozložení aktivity v experimentu s přídatkem SUNAGREEN

4.2.8 Příklad REXAN

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek REXAN, který obsahuje jako účinnou látku kyselinu 2-aminobenzoovou a 4-hydroxyacetanilid.

Datum experimentu: 6.6.2014 – 13.6.2014

Tabulka 34: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídatkem REXAN

Exp. číslo	přídavek	Aktivita 6.6. *	Aktivita 13.6. *	Aktivita 6.6. **	Aktivita 13.6. **	Aktivita po rozpadu 13.6. **	Aktivita v rostlinách 13.6. **	Záchyt %
7	REXAN	110	62	346	160	226	66	29

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

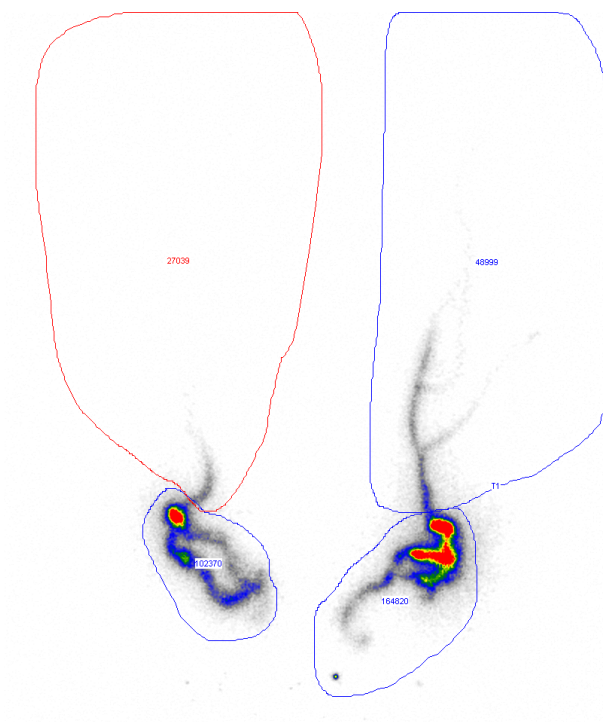
** Měřeno na scintilační sondě

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Tabulka 35: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídatkem REXAN

Exp. číslo	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
7.1	164820	48999	213819	46	14	59	77	23
7.2	102370	27039	129409	28	8	36	79	21
7.3	195501	22973	218474	54	6	61	89	11
průměr	154230	33004	187234	43	9	52	82	18

Rozložení aktivity v experimentu 7.1 a 7.2



Experiment 7.1 a 7.2



Obrázek 20: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem REXAN

4.2.9 Přídavek ATONIK

K rostlinám byl přidán spolu s ^{223}Ra stimulační přípravek ATONIK, který obsahuje jako účinnou látku 2-methoxy-5-nitrofenolát sodný, 2-nitrofenolát sodný a 4-nitrofenolát sodný.

Datum experimentu: 20.3.2014 – 27.3.2014

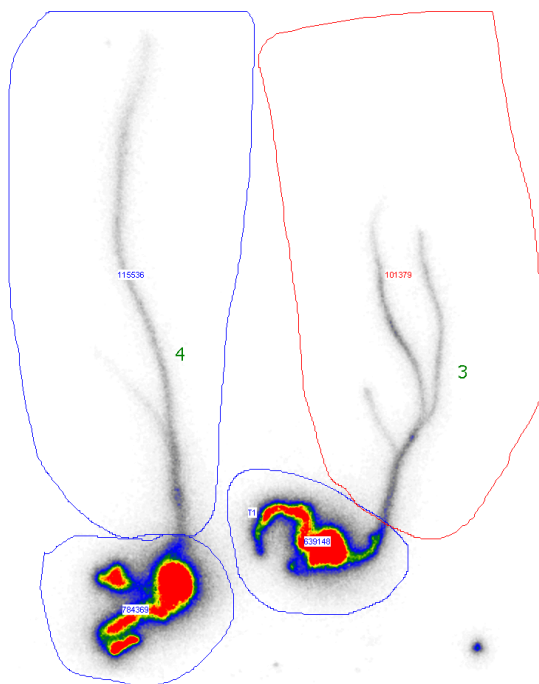
Tabulka 36: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

Exp. číslo	přídavek	Aktivita 20.3. *	Aktivita 27.3. *	Aktivita po rozpadu 27.3.*	Aktivita v rostlinách 27.3. *	Záchyt %
11	ATONIK	312	165	204	39	19
12	ATONIK	352	184	230	46	20
průměr		332	174,5	217	42	20

* Měřeno detektorem plošné kontaminace

Data pro 8-10 rostlin v jedné kultivaci, aktivity jsou uvedeny v imp/s.

Rozložení aktivity v experimentu 12.3 a 12.4



Experiment 12.3 a 12.4



Obrázek 21: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

Tabulka 37: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem ATONIK

Exp. č.	Aktivita kořeny [imp/h]	Aktivita list [imp/h]	Aktivita celkem [imp/h]	Aktivita kořeny [imp/s]	Aktivita list [imp/s]	Aktivita celkem [imp/s]	% kořeny	% list
11.1	680666	115527	796193	189	32	221	85	15
11.2	750826	145702	896528	209	40	249	84	16
11.3	532850	77266	610116	148	21	169	87	13
11.4	634963	110244	745207	176	31	207	85	15
12.1	662084	138614	800698	184	39	222	83	17
12.2	1019303	156050	1175353	283	43	326	87	13
12.3	639148	101379	740527	178	28	206	86	14
12.4	784369	115539	899908	218	32	250	87	13
průměr	713026	120040	833066	198	33	231	86	14

4.2.10 Souhrn výsledků

Tabulka 38: Souhrn výsledků pro experimenty s ovsem setým

Kultivace	Regulátor	% v kořenech	% v listu	% záchyt
1	EDTA	75	25	-
7	SUNAGREEN	96	4	83
8	REXAN	82	18	29
9	ATONIK	86	14	20
2	STIMULÁTOR Z	82	18	31
3	RACINE	88	12	51
4	VERMAKTIV	77	23	59
5	VERMAKTIV RP	89	11	41
6	KONTROLA	94	6	84

5 Závěr

V práci byla studována možnost fytoextrakčního zachytu ^{223}Ra v podobě radnatého kationtu sterilními kulturami kukuřice seté a ovsa setého. Rostliny byly zvoleny jednak z hlediska snadné praktické hydroponické kultivace ve smyslu fytoextrakční technologie a rovněž z důvodu, že se jedná o kulturní rostliny, kde je vhodné zkoumat zachyt kontaminantů pro účely vyhodnocení kontaminace potravních řetězců. Záměrem bylo rovněž použít rostliny s odlišným metabolismem, aby bylo možné posoudit možnosti příslušných skupin rostlinných species.

V práci byla jednoznačně prokázána možnost extrakce solí ^{223}Ra a translokace radioaktivního materiálu do nadzemních částí rostlin. Ke zvýšení translokace a k vyhodnocení vlivu na poměr kontaminace kořenové a nadzemní části byl testován běžně používané růstové regulátory. Tyto se v praxi aplikují ve formě postřiku, nicméně pro účely sterilní kultivace byly tyto látky přidávány do kultivačního média. U obou testovaných kultivarů byl prokázán vliv aditiv na míru translokace kontaminantu v rostlinách, celkový zachyt byl však při použití regulátorů nižší. V případě kukuřice způsobil přídavek aditiva až téměř čtyřnásobné zvýšení translokace. Přípravek Racine takto působil i při minimálním snížení celkového zachytu ze 75 % při kontrolním pokusu na 69 % v aditivovaném experimentu. V případě ovsa je situace obdobná, aditiva snižují celkový zachyt a zvyšují translokaci přibližně ve stejném poměru jako v případě kukuřice, pouze celkový zachyt je vyšší, u kontroly 84 % u ovsa a 75 % u kukuřice.

Z výsledků je zřejmé, že ^{223}Ra je přijímáno z vodných roztoků testovanými rostlinami a je rovněž translokováno do nadzemních částí. Použití regulátorů růstu významně zvyšuje kontaminaci nadzemní části. Z uvedeného vyplývá nutnost dočišťování odpadů z pracovišť využívajících radiofarmaka uvedeného typu a rovněž možnost kontaminace potravních řetězců v případě průniku odpadů do životního prostředí.

6 Literatura

- [1] Zhu Y.G., Shaw G.: *Chemosphere* **2000**, 41, 121-128.
- [2] <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje> staženo dne 10.7.2014
- [3] <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz> staženo dne 10.7.2014
- [4] Levý L.: Radionuklidy v životním prostředí, Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích (2008).
- [5] http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC51/GC51InfDocuments/English/gc51inf-3-att2_en.pdf staženo dne 11.7.2014
- [6] <https://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi> staženo dne 10.7.2014
- [7] Soudek P., Petrová Š., Benešová D., Koryta J., Vaněk T.: *Chem. listy* **2008**, 102, 346-352.
- [8] Šlechtová M.: Využití rostlinných biotechnologií k odstraňování farmak ze životního prostředí, Diplomová práce, UK Praha (2010).
- [9] Dushenkov S.: *Plant and soil* **2003**, 249, 167- 175.
- [10] Vanderhove H. Van Hess M.: *Journal od environmental radioactivity* **2004**, 72, 41-45.
- [11] Pavlová L.: Fyziologie rostlin. - Karolinum, UK Praha, 2005. 253 stran. ISBN 80-246-0985-1.
- [12] Luštinec J., Žárský V.: Úvod do fyziologie vyšších rostlin. - Karolinum 2003. ISBN 80-246-0563-5
- [13] Echevarria G., Sheppard I.M., Morel J.L.: *Journal od environmental radioactivity* **2001**, 53, 257-264.
- [14] Strebl F., Ehlken S., Gerzabek S.E., Kirchner G.: *Radioactivity in the environment* **2007**, 10, 19-42.
- [15] Lasat M.M., Norvell W.A., Kochian L.V.: *Plant Soil* **1997**, 195, 99–106.
- [16] Wallace E.A., Romney E.M., Wood R.A.: *Soil Science*, **1982**, 134, 71–75.
- [17] Cremers A., Elsen A., de Peter, P., Maes, A.: *Nature*, **1988**, 335, 247–249.
- [18] Cox A.E., Joern B.C.: *Soil Science*, **1997**, 162, 588–598.
- [19] Vandenhove H., Van Hees M., De Brouwer S., Van Den Castele C.M.: *Science of*

the Total Environment, **1996**, 187, 237–245.

[20] Dhankher O.P., Li, Y. Rosen B.P., Shi J., Salt D., Senecoff J.F., Sashti N.A., Meagher R.B.: *Nature Biotechnology*, **2002**, 20, 1140–1145.

[21] Vandenhove H., Eyckmans, T. Van Hess M.: *Journal of environmental radioactivity*, **2005**, 81, 255-267.

[22] Willey N., Collins Ch.: *Radioactivity in the environment*, **2007**, 10, 43-69.

[23] http://www.ema.europa.eu/docs/cs_CZ/document_library/EPAR_-_Product_Information/human/002653/WC500156172.pdf (staženo dne 5.6.2014).

[24] Goyal J., Antonrakis E.S.: *Cancer letters*, **2012**, 323, 135-146.

[25] <http://www.vpagro.cz/download/etikety/atonik%20pro.pdf> staženo dne 8.7.2014.

[26] <http://www.chemapagro.cz/pripravky/stimulatory/rexan/> dostupné on line dne 8.7.2014.

[27] <http://www.chemapagro.cz/pripravky/stimulatory/sunagreen/> dostupné on line dne 8.7.2014.

[28] <http://www.enzymix.eu/wp-content/uploads/2013/08/vermaktivcz.pdf> staženo dne 8.7.2014

[29] <http://www.vpagro.cz/download/etikety/racine.pdf> staženo dne 8.7.2014

[30] Murashige T.; Skoog F.: *Physiolgia Plantarum* **1962**, 15, 473-497.

7 Seznam tabulek

Tabulka 1: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem EDTA

Tabulka 2: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem EDTA

Tabulka 3: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem SUNAGREEN

Tabulka 4: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem SUNAGREEN

Tabulka 5: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem REXAN

Tabulka 6: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem REXAN

Tabulka 7: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem ATONIK

Tabulka 8: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem ATONIK

Tabulka 9: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem Stimulátoru Z

Tabulka 10: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem Stimulátoru Z

Tabulka 11: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem RACINE

Tabulka 12: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem RACINE

Tabulka 13: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem VERMAKTIV

Tabulka 14: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem VERMAKTIV

Tabulka 15: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem VERMAKTIV RP

Tabulka 16: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přídavkem VERMAKTIV RP

Tabulka 17: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu bez přídavku stimulátoru růstu

Tabulka 18: Aktivity v jednotlivých částech rostliny v experimentu bez přídavku stimulátoru růstu

Tabulka 19: souhrn výsledků pro experimenty s kukuřicí setou

Tabulka 20: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přídavkem EDTA

Tabulka 21: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem EDTA

Tabulka 22: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Tabulka 23: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Tabulka 24: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

Tabulka 25: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem RACINE

Tabulka 26: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Tabulka 27: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Tabulka 28: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Tabulka 29: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Tabulka 30: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu bez přidavku stimulátoru růstu

Tabulka 31: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu bez přidavku stimulátoru růstu

Tabulka 32: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Tabulka 33: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Tabulka 34: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem REXAN

Tabulka 35: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem REXAN

Tabulka 36: Počáteční a konečné hodnoty aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

Tabulka 37: Aktivita v jednotlivých částech rostliny v experimentu s přidavkem ATONIK

Tabulka 38: Souhrn výsledků pro experimenty s ovsem setým

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Týdenní hodnoty objemové aktivity ^{137}Cs , ^7Be a ^{210}Pb v aerosolu naměřené v lokalitě SÚRO Praha

Obrázek 2: Příjem vody a minerálních živin kořeny (Plant physiology Fourth Edition)

Obrázek 3: řetězec rozpadu ^{223}Ra s poločasy a způsobem rozpadu

Obrázek 4: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem EDTA

Obrázek 5: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Obrázek 6: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem REXAN

Obrázek 7: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

Obrázek 8: Rozdělení aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Obrázek 9: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

Obrázek 10: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Obrázek 11: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Obrázek 12: Rozložení aktivity v experimentu bez přidavku stimulátoru růstu

Obrázek 13: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem EDTA

Obrázek 14: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem Stimulátoru Z

Obrázek 15: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem RACINE

Obrázek 16: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV

Obrázek 17: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem VERMAKTIV RP

Obrázek 18: Rozložení aktivity v experimentu bez přidavku stimulátoru růstu

Obrázek 19: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem SUNAGREEN

Obrázek 20: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem REXAN

Obrázek 21: Rozložení aktivity v experimentu s přidavkem ATONIK

9 Seznam rovnic

Rovnice 1: 1. Fickův zákon

Rovnice 2: distribuční koeficient solid-liquid

Rovnice 3: definice transfer faktoru

10 Seznam použitých zkratek

PPCP - Pharmaceuticals and Personal Care Products

EDSc - Endocrine DiSrupting Chemicals

US EPA - Enviromental Protection Agency USA

IAA - kyselina indol-3-octová

IBA – kyselina indol-3-máslená

4-CI-IAA – kyselina 4-chlorindol-3-octová